

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О. М. БЕКЕТОВА

ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України
як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів

Харків – ХНУМГ – 2014

УДК 629.43.004(075)

ББК 39.8-08я73-6

Т38

Автори:

Далека Василь Хомич, доктор технічних наук, професор;

Будниченко Валерій Борисович, кандидат технічних наук, доцент;

Карпушин Едуард Іванович, кандидат технічних наук;

Коваленко Віталій Іванович

Рецензенти:

Е. Д. Тартаковський, доктор технічних наук, професор, Академік Транспортної академії України, завідувач кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу Української державної академії залізничного транспорту, лауреат Державної премії України в галузі науки та техніки;

В. І. Носков, доктор технічних наук, професор завідувач кафедри «Обчислювальна техніка і програмування» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

М. І. Шпіка, кандидат технічних наук, доцент, декан факультету «Електричний транспорт»

Рекомендовано

Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України

лист № 1/11-2234 від 12.02.2013р.

Технічна експлуатація міського електричного транспорту :
Т38 навч. посібник / В. Х. Далека, В. Б. Будниченко, **Е. І. Карпушин**,
В. І. Коваленко; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова.
– Х. : ХНУМГ, 2014. – 236 с.

ISBN 978-966-695-312-7

У даному навчальному посібнику розглянуто закономірності зміни технічного стану транспортних засобів, методи оцінки його надійності. Викладено питання організації діагностування та технічного обслуговування рухомого складу з використанням спеціального устаткування, автоматизованих робочих місць спеціалістів транспортних підприємств.

Наведено порядок допуску рухомого складу трамвая і тролейбуса в дорожньому русі і особливих умовах експлуатації. Розглянуто питання технологічного проектування підприємств міського електричного транспорту.

Розрахований на студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю “Електричний транспорт”, а також спеціалістів міського електричного транспорту.

УДК 629.43.004(075)

ББК 39.8-08я73-6

© В. Х. Далека, В. Б. Будниченко,

Е. І. Карпушин, В. І. Коваленко, 2014

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014

ISBN 978-966-695-312-7

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	5
Модуль 1. Організаційно-правові аспекти діяльності підприємств з технічної експлуатації рухомого складу міського електротранспорту.....	8
Тема 1. Основні поняття та визначення.....	8
Тема 2. Випуск, робота на лінії та повернення рухомого складу.....	17
Модуль 2. Рухомий склад як об'єкт технічної експлуатації.....	29
Тема 3. Основні поняття і визначення.....	29
Тема 4. Зміни станів рухомих одиниць.....	40
Тема 5. Види відмов рухомого складу.....	46
Модуль 3. Ресурсне забезпечення технічної експлуатації.....	51
Тема 6. Енергетичні й матеріальні ресурси.....	51
Практичне заняття 1 (до теми 6): обробка звітних даних по витратах електроенергії.....	54
Тема 7. Витратні матеріали.....	57
Тема 8. Трудові ресурси.....	63
Модуль 4. Отримання і обробка числових даних щодо технічного стану рухомого складу.....	67
Тема 9. Елементи теорії ймовірностей та математичної статистики.....	73
Тема 10. Отримання інформації за даними спостережень.....	80
Тема 11. Обробка даних про несправності рухомих одиниць.....	85
Практичне заняття 2 (до теми 11): визначення кількості об'єктів спостережень для обчислення характеристик надійності.....	88
Модуль 5. Математичні моделі технічного стану рухомого складу.....	88
Тема 12. Загальні принципи формування математичних моделей надійності рухомого складу.....	88
Практичне заняття 3 (до теми 12): визначення параметрів закону розподілу напрацювання до відмови за даними спостережень.....	95
Тема 13. Моделі відмов рухомого складу.....	97
Практичне заняття 4 (до теми 13): моделі незалежних повторюваних випробувань.....	106
Тема 14. Визначення параметрів моделей.....	107
Практичне заняття 5 (до теми 14): визначення закону розподілу напрацювання до відмови.....	118

Модуль 6. Система технічного обслуговування і ремонту рухомого складу.....	121
Тема 15. Планово-попереджувальний принцип забезпечення справності.....	121
Тема 16. Організація проведення контрольних і ремонтно-профілактичних заходів.....	124
Тема 17. Організація проведення робіт.....	128
Тема 18. Планування робіт із технічного обслуговування і ремонту.....	145
Модуль 7. Технічна діагностика.....	148
Тема 19. Теоретичні основи технічної діагностики.....	148
Тема 20. Діагностичні процедури та обладнання.....	155
Тема 21. Розміщення діагностичного обладнання в технологічних плануваннях депо.....	173
Модуль 8. Удосконалення організації технічного обслуговування і ремонту.....	183
Тема 22. Механізація процесів заміни агрегатів.....	183
Тема 23. Підвищення ефективності технічної експлуатації за рахунок удосконалення технології та збільшення потужності ремонтних підрозділів.....	191
Практичне заняття 6 (до теми 23): розрахунок коефіцієнтів кореляції.....	197
Практичне заняття 7 (до теми 23): визначення параметрів регресії.....	199
Тема 24. Підвищення ефективності використання ресурсів підприємства.....	201
Практичне заняття 8 (до теми 24): визначення оптимальної кількості робітників ремонтної сфери.....	209
Практичне заняття 9 (до теми 24): визначення оптимального розміру оборотного фонду.....	210
Практичне заняття 10 (до теми 24): управління оборотними запасами.....	212
Тема 25. Інформаційні технології в системі технічного обслуговування і ремонту рухомого складу.....	213
Тема 26. Перспективи запровадження фірмового обслуговування.....	227
Список джерел.....	282

ПЕРЕДМОВА

Технічна експлуатація являє собою підсистему міського електричного транспорту, яка покликана забезпечити максимальну відповідність обсягів транспортної роботи попиту на транспорті послуги шляхом дотримання належного технічного стану рухомого складу. Завданнями підсистеми є підвищення експлуатаційної надійності й зменшення витрат на утримання трамвайних вагонів і тролейбусів, що вирішуються удосконаленням методів поводження з елементами рухомого складу, підвищенням продуктивності праці, зменшенням трудомісткості робіт.

Цей посібник присвячений викладу теоретичних і практичних питань організації технічної експлуатації рухомого складу, регламентів технічного обслуговування та технологій ремонту. Теоретичним підґрунтям дисципліни є теорія надійності й теорія масового обслуговування, приділена увага питанням ресурсозбереження, методам і засобам технічної діагностики та іншим актуальним для міського електротранспорту питанням.

Матеріал посібника ґрунтується на результатах власних досліджень авторів, проведених в різний час в Харківській національній академії міського господарства під керівництвом професорів Карпушина Е.І. і Далеки В.Х., а також в Науково – дослідному та конструкторсько-технологічному інституті міського господарства (м. Київ) під керівництвом доктора технічних наук Веклича В.Ф.

По завершенні курсу студент повинен уміти визначати показники технічного стану рухомих одиниць як в цілому, так і по окремих його елементах, знати призначення і особливості застосування типового й нестандартного технологічного обладнання, розробляти заходи зі зменшення собівартості перевезень пасажирів, отримати уявлення про шляхи удосконалення планування та організації технічного обслуговування і ремонту рухомого складу, розробляти технологічні процеси, іншу технічну документацію тощо.

Дисципліна є прикінцевою і спирається на курси “Конструкційні матеріали”, “Механічне обладнання рухомого складу міського електричного транспорту”, “Електричне обладнання міського електричного транспорту”, “Економіка галузі”, “Організація експлуатації”, а також використовує поняття та положення інших професійно-орієнтованих дисциплін. Відповідно до програми весь матеріал курсу розбито на вісім змістових модулів, вивчення яких має забезпечити опанування необхідних для роботи на підприємстві міського електротранспорту знань, вмінь та уявлень.

Основними формами вивчення дисципліни є самостійна робота, лекції і практичні заняття, обговорення контрольних запитань у вигляді семінарських занять та складання письмових рефератів за відповідною тематикою. Це відповідає сучасним поглядам, за якими самостійне оволодіння знаннями є неодмінною умовою розвитку пошукової активності студентів, необхідної для їх подальшої діяльності в конкурентному середовищі.

Зокрема самостійному вивченню підлягає перший модуль, деякі теми другого, четвертого та інших модулів. Певна частка навчального матеріалу для засвоєння на рівні уявлень (організація матеріально-технічного постачання, бухгалтерський облік, регламенти утримання контрольно-вимірювального приладдя, організація дотримання вимог охорони праці, статистична звітність і т.п.) має бути вивчена самостійно за відповідною літературою.

Опанування програми має відбуватися згідно з розподілом навчального часу:

Модулі	Вагові коефіцієнти модулів	Кількості годин				
		Лекції	Практичні заняття	Всього аудиторних	Самостійна робота	Всього на модуль
1 модуль	0,15	5	10	15	25	40
2 модуль	0,15	5	10	15	25	40
3 модуль	0,1	4	8	12	20	32
4 модуль	0,1	4	8	12	20	32
5 модуль	0,1	4	8	12	20	32
6 модуль	0,15	5	10	15	25	40
7 модуль	0,1	4	8	12	20	32
8 модуль	0,15	5	10	15	25	40
Всього	1,0	36	72	108	180	308

Забезпечення належного рівня контролю засвоєння питань програми покладається на систему модульного контролю, що має здійснюватися як безпосередньо, так і при дистанційному навчанні – засобами електронної пошти, на Інтернет конференціях тощо.

Модульний контроль проводиться за навчальним матеріалом окремих модулів після завершення лекційних і практичних занять. Він містить два рівні – оцінку репродуктивного й дійового рівня знань на основі програмних запитань, та оцінку творчого рівня знань на основі вирішення ситуаційних завдань, орієнтовні переліки яких подано в кінці кожного модуля.

Оцінку репродуктивного й дійового рівня знань передбачається проводити на практичних заняттях, де в формі обговорення, у яких мають приймати участь всі студенти групи, програмних запитань встановлюються

рівні оволодіння матеріалом і відзначаються кількості та зміст актів позитивної активності. Оцінювання творчого рівня, продемонстрованого у рефератах, передбачається за 100-бальною рейтинговою шкалою в системі Європейської кредитно-трансферної системи (ECTS).

Оцінка	Рейтинг	Зміст оцінки
A	91 – 100	Відмінне виконання лише з незначною кількістю несуттєвих неточностей
B	81 - 90	Значно вище середнього рівня, але з кількома непринциповими помилками
C	71 - 80	У цілому правильна робота, але з помітними помилками
D	61 - 70	У цілому оцінюється позитивно, але має значну кількість грубих помилок
E	51 - 60	Робота задовольняє мінімальним критеріям
FX	31 - 50	Потрібне істотне доопрацювання перед повторним поданням
F	0 - 30	Завдання не виконано, роботу необхідно повністю переробити

Значення рейтингів треба помножувати на вагові коефіцієнти модулів.

Оцінка засвоєння матеріалу кожного модуля здійснюється за сумою рейтингу реферату та додаткових балів $B_1 \dots B_4$, що надаються згідно зі шкалою:

Відвідування лекцій:	B_1	Активність на обговореннях	B_3
Всіх	+2	Висока	+3
Більше половини	0	Середня	+1
Менше половини	- 1	Низька, відсутня	0
Відвідування практичних занять:	B_2	Терміни складання модулів	B_4
Всіх	+2	У строк	+1
Більше половини	0	Тиждень після строку	0
Менше половини	-1	Більше тижня після строку	-1

Підсумкова оцінка засвоєння курсу (рейтинг) складається із суми оцінок за окремими модулями, за якою встановлюється загальний висновок за шкалою:

Сума оцінок засвоєння модулів (рейтинг)	Зміст підсумкової оцінки
91 і вище	Засвоєно відмінно
76 ... 90	Засвоєно добре, вище середнього рівня
66 ... 75	Засвоєно задовільно, на середньому рівні
50 ... 65	Засвоєно недостатньо, потрібно додаткове опрацювання
30 ... 49	За умови переробки рефератів допускається до іспиту
Менше 30	Дисципліну не засвоєно

За умови отримання рейтингу не нижче 75 потреби в семестровому екзамені немає.

Модуль 1. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ПРАВОВІ АСПЕКТИ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ З ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Тема 1. Основні поняття та визначення

Загальні відомості

Технічна експлуатація розглядається як наукова і практична діяльність.

Технічна експлуатація електричного транспорту як наука визначає шляхи й методи найбільш ефективного управління станом технічних засобів з метою забезпечення регулярності й безпеки перевезень при найбільш повному використанні технічних можливостей конструкції, оптимізації споживання матеріальних, енергетичних, трудових, інформаційних та фінансових ресурсів.

Технічна експлуатація електричного транспорту як галузь практичної діяльності – це комплекс організаційних, технічних, економічних і соціальних заходів, що забезпечують працездатність технічних засобів електротранспорту при раціональному використанні усіх видів ресурсів.

У класичному вигляді експлуатація транспорту розглядається як комплексна система, що складається з трьох підсистем: управління експлуатацією, комерційної та технічної експлуатації. Кожна з цих підсистем має свої функціональні завдання, для виконання яких необхідні відповідні ресурси.

Основні завдання управління експлуатацією – це забезпечення взаємозв'язку з навколишнім середовищем та координація дій комерційної і технічної експлуатації, комерційної експлуатації, тобто зовнішня (директивні й плануючі органи, суміжні галузі, інші види транспорту) і внутрішня (підсистеми комерційної і технічної експлуатації) координація роботи, а також правове, нормативне, фінансове забезпечення функціонування міського електротранспорту.

До основних завдань комерційної експлуатації відносять - максимальне задоволення потреб населення в пасажирських перевезеннях при заданих показниках та збір оплати за проїзд, тобто одержання кінцевого результату - обсягу транспортної роботи для задоволення потреб населення в перевезеннях за встановленими економічними (витрати, собівартість та ін.) і соціальними (комфортабельність, час) показниками, підвищення якості пасажирських перевезень.

Оскільки основні завдання технічної експлуатації - своєчасне забезпечення транспортного процесу працездатним рухомим складом відповідних типів, утримання колійного господарства та систем електропостачання і керування рухом при оптимальних витратах матеріальних, енергетичних, трудових і фінансових ресурсів, то найбільш трудомісткими та матеріалоємними процесами вважаються процеси технічної експлуатації. Вони, в свою чергу, потребують найбільшого обсягу споживання ресурсів [1, 2], рівень яких залежить від вирішення містобудівельних проблем, питань муніципального управління, ефективності роботи промислових підприємств, соціальної сфери, технічного рівня виробничої бази підприємств електротранспорту, рівня організації технічного обслуговування та ремонтів, надійності технічних засобів та ін.

До складу міського електротранспорту входять: метрополітен, трамвай, тролейбус, фунікулер, ескалатори (рухомі тротуари). Міський електротранспорт є частиною загальної транспортної системи України, на нього покладені функції забезпечення пасажирських перевезень у містах та промислових центрах, а в деяких випадках між містами України (наприклад, міжміська тролейбусна лінія Сімферополь – Алушта - Ялта).

Пасажирські перевезення здійснюють підприємства міського електротранспорту, які є частиною народного господарства країни. Підприємства наземного міського електротранспорту, в тому числі швидкісного трамваю, знаходяться у комунальній власності міст; метрополітени, за винятком київського, що належить міській громаді, є державною власністю.

Діяльність підприємств міського електротранспорту проводиться на підставі Законів України “Про підприємство”, “Про транспорт”, “Про дорожній рух”, «Про міський електричний транспорт» та інших [3-7].

Підприємства міського електротранспорту несуть відповідальність згідно з чинним законодавством за забезпечення обсягів і якості пасажироперевезень, у тому числі за:

- безпеку транспортних засобів міського електротранспорту, які вони експлуатують;
- усунення причин виробничого травматизму;
- охорону навколишнього середовища від шкідливого впливу транспорту.

Технічні засоби міського електротранспорту підлягають контролю (державному технічному огляду) з боку уповноважених на це державних органів у порядку, що визначається Кабінетом Міністрів.

Підприємства електротранспорту мають право:

- визначати термін і графік перевезень;
- запроваджувати регулярні й додаткові рейси і маршрути перевезень;
- пропонувати рівень комфорту на вибір пасажирів;
- вимагати від пасажирів виконання вимог нормативних актів, що регулюють відносини між ними і підприємством.

Основні функції підприємств з експлуатації рухомого складу міського електротранспорту

Підприємства, які здійснюють експлуатацію рухомого складу міського електротранспорту:

- реєструють і ведуть облік роботи транспортних засобів;
- забезпечують експлуатацію транспортних засобів відповідно до вимог чинних державних стандартів, правил та інших нормативно-технічних документів;
- здійснюють постійний аналіз роботи транспортних засобів, вносять пропозиції щодо підвищення їх якості й надійності;
- вивчають умови безпеки руху на маршрутах міського електротранспорту і в межах своєї компетенції вживають заходи щодо усунення недоліків та перешкод для руху;
- проводять модернізацію (удосконалення конструкції) технічних засобів за документацією (з дозволу) заводів-виробників рухомого складу та його складових частин;
- розробляють, закупають і впроваджують технологічне обладнання для технічного обслуговування рухомого складу;
- укомплектовують штати керівників структурних підрозділів і спеціалістів, готують робітників необхідних професій та кваліфікацій;
- вносять пропозиції щодо зміни чинних правил з метою удосконалення експлуатації, організації та технології технічного обслуговування і ремонту рухомого складу.

Основні функції підприємств з ремонту рухомого складу міського електротранспорту

Підприємства з ремонту рухомого складу міського електротранспорту (заводи, ремонтно-експлуатаційні депо, майстерні, конструкторські й технологічні бюро):

- здійснюють середні й капітальні ремонти рухомого складу, інших технічних засобів, у тому числі обладнання інфраструктури;

- виготовляють і постачають запасні частини та комплектуючі вироби для задоволення потреб експлуатаційних підприємств;
- забезпечують потреби експлуатаційних підприємств у виробках для комплектації нових трамвайних і тролейбусних ліній, а також ремонту наявних;
- забезпечують виконання відповідних вимог законодавства у сфері дорожнього руху;
- здійснюють модернізацію рухомого складу та інших технічних засобів за документацією заводів-виробників;
- розробляють і виготовляють за замовленням експлуатаційних підприємств нестандартне технологічне обладнання і спеціальний рухомий склад;
- розробляють і забезпечують експлуатаційні підприємства (за їх замовленням) необхідною ремонтною документацією.

Правові й організаційні засади технічної експлуатації рухомого складу

Відповідно до призначення рухомий склад міського електротранспорту поділяється на пасажирський і спеціальний. Пасажирський рухомий склад виконує перевезення пасажирів, спеціальний призначений для виконання вантажних перевезень, механізації робіт з технічного обслуговування контактної мережі, рейкової колії, навчання персоналу та інших функцій, що забезпечують діяльність підприємств міського електротранспорту.

Правові засади технічної експлуатації рухомого складу включають таку законодавчу регламентацію:

- порядку реєстрації рухомого складу;
- порядку переоснащення рухомого складу;
- вимог до технічного стану рухомого складу;
- порядку допуску до експлуатації нового рухомого складу;
- вимог до технічного обслуговування та ремонту рухомого складу;
- вимог до виробничо-технічного обліку;
- вимог до інформаційного забезпечення рухомого складу;
- списання рухомого складу.

Введення в експлуатацію нового рухомого складу

Новий рухомий склад під час надходження його до експлуатаційного підприємства від підприємства-виробника повинен бути прийнятий комісією, призначеною керівником підприємства міського електротранспорту, із складанням відповідного акта. На рухомому складі, що приймається, повинно

перевірятися функціонування всього обладнання, надійність його кріплення і проводитися пробна обкатка на лінії без пасажирів не менше 50 км. При початку експлуатації нового рухомого складу (моделі, типу), який раніше на даному підприємстві не застосовувався, має бути організовано навчання водіїв і ремонтного персоналу. Кожному новому трамвайному вагону або тролейбусу повинен бути присвоєний інвентарний номер. Інвентарні номери тролейбусів і трамвайних вагонів повинні дозволяти визначати їх приналежність до конкретного транспортного підприємства і не повторюватися у межах міста.

Рухомий склад, що відпрацював встановлений строк експлуатації

Рухомий склад, що відпрацював встановлений строк експлуатації, підлягає списанню з оформленням акта відповідної форми, який підписується начальниками відділу технічного контролю (ВТК), виробничо-технічного відділу (ВТВ), головним бухгалтером, головним інженером підприємства і затверджується власником транспортних засобів.

Строк служби може бути продовжений за висновком комісії, призначеної керівником підприємства, і узгодженням Держтехінспекції міського електротранспорту. Агрегати, машини, вузли й деталі, що демонтуються із списаного рухомого складу й придатні для подальшого використання, повинні оприбутковуватися для поповнення оборотного фонду.

Персонал підприємств з технічної експлуатації і ремонту рухомого складу

Кожний працівник підприємств міського електротранспорту зобов'язаний дотримуватись законів України, правил дорожнього руху, нормативних документів з питань міськелектротранспорту, затверджених центральними та місцевими органами виконавчої влади в межах їх компетенції, правил експлуатації трамвая і тролейбуса [5], посадових інструкцій, вимог експлуатаційної документації підприємств-виробників рухомого складу, інших нормативно-технологічних документів. Виконання обов'язків контролюється відповідними посадовими особами.

Кваліфікація і стан здоров'я працівників міського електротранспорту повинні відповідати чинним вимогам до працівників підприємств підвищеної небезпеки. До робіт, пов'язаних з рухом електротранспорту, наявністю високої електричної напруги, перебуванням на висоті, на проїжджій частині вулиць та трамвайних колій, допускаються особи, які мають спеціальну підготовку, набуту в навчально-курсних комбінатах, вищих і середніх спеціальних навчальних закладах, і відповідні посвідчення. До роботи приймаються особи

віком не молодше 18 років, які попередньо пройшли медкомісію і не мають її протипоказань. Водії трамвая, тролейбуса та інших саморухомих транспортних засобів повинні мати відповідні посвідчення.

Персонал, який виконує технічне обслуговування і ремонт рухомого складу, повинен мати відповідну кваліфікацію, а робочі місця укомплектовані стандартним і нестандартним устаткуванням, інструментом, комплектуючими виробами й матеріалами, необхідними за технологічними картами.

Робітники міського електричного транспорту, безпосередньо пов'язані з експлуатацією, технічним обслуговуванням і ремонтом електроустановок (тягових підстанцій, контактних і кабельних мереж, обладнань сигналізації, управління рухом, зв'язку, електрифікованого технологічного устаткування заводів (майстерень) з ремонту рухомого складу та ін.), допускаються до роботи тільки після вивчення Правил експлуатації трамвая і тролейбуса, інших чинних нормативних документів щодо улаштування і експлуатації електроустановок, техніки безпеки при експлуатації електроустановок та присвоєння відповідної кваліфікаційної групи.

Права, обов'язки й відповідальність працівників міського електротранспорту викладаються в посадових інструкціях, затверджених керівником підприємства міського електротранспорту.

Новоприйняті працівники перед допуском до роботи повинні пройти загальний інструктаж та інструктаж на робочому місці з оформленням відповідних записів у журналах інструктажів. Чергові й сезонні інструктажі водіїв повинні проводитися за графіком, затвердженим наказом керівника підприємства міського електротранспорту.

Поновлення і закріплення знань з охорони праці працівниками міського електротранспорту проводяться на інструктажах кожні півроку. Перевірка знань правил експлуатації трамвая і тролейбуса проводиться щорічно комісією, призначеною наказом керівника підприємства.

Навчання, атестація і перевірка знань робітників, які обслуговують об'єкти, підконтрольні органам державного нагляду, повинні проводитися за програмами і в порядку, встановленому цими органами.

Всі працівники міського електротранспорту зобов'язані підвищувати свою кваліфікацію й професійну майстерність. З цією метою на підприємствах створюються навчальні приміщення, обладнуються спеціальні трамвайні вагони і тролейбуси, залучаються кваліфіковані кадри.

Реєстрація і облік трамвайні вагонів і тролейбусів

Реєстрація і облік виконуються згідно з порядком, який встановлюється центральним виконавчим органом державної влади. Кожний трамвайний вагон і тролейбус реєструється не пізніше *10 діб* після їх придбання, отримання або виникнення інших обставин, що потребують змін у реєстраційних документах. Реєстрації підлягає рухомий склад, що виготовляється в Україні або ввозиться на її територію і має сертифікат, який підтверджує його відповідність обов'язковим вимогам нормативних документів, чинних в Україні. Порядок сертифікації рухомого складу, його складових частин та комплектуючих виробів встановлює Закон України “ Про підтвердження відповідності”. Згідно з цим Законом обов'язковій сертифікації підлягають вироби, на які є затверджений Кабінетом Міністрів України технічний регламент.

Переоснащення (переобладнання) рухомого складу

Заміна основних параметрів конструкції трамвайних вагонів і тролейбусів, які перебувають в експлуатації, шляхом переобладнання кабіни, кузова або їх деталей, установлення обладнання і номерних агрегатів, не передбачених нормативно-технічною документацією, повинна відповідати правилам, нормативам і стандартам України.

Під час переобладнання не дозволяється без погодження з підприємством-виробником рухомого складу виконувати переобладнання, що призводить до зміни повної маси та її розподілу по осях, розташування центру ваги, типу двигуна, його ваги й потужності, колісної бази та колісної формули, гальмівних систем, рульового управління і трансмісії.

Переоснащення (переобладнання), яке призвело до зміни основних техніко-експлуатаційних показників рухомого складу, повинно відображатися в реєстраційних документах.

Інформаційне опорядження рухомого складу

Інформаційне опорядження здійснюється з метою ознайомлення пасажирів з порядком та умовами перевезень. Інформаційне забезпечення рухомого складу поділяється на звукове й візуальне. Звукову інформацію передає водій рухомого складу або автоінформатор, повідомляючи про назви пунктів зупинок, порядок оплати проїзду, можливі пересадки і та ін. Візуальна інформація міститься на покажчиках, схемах маршрутів та інформаційних табличках.

Покажчики маршрутів рухомого складу повинні інформувати про номери маршрутів, назви початкових, кінцевих і основних проміжних пунктів зупинок. Передні й бокові покажчики рухомого складу повинні містити дані про номер маршруту й назви початкового і кінцевого пунктів зупинок. Дозволяється наносити тільки номер маршруту, якщо конструкція ніші не дозволяє розмістити всю інформацію. На задніх покажчиках зазначають тільки номери маршруту. Маршрутні покажчики в темний час доби повинні освітлюватися. Як правило, покажчики маршрутів повинні виготовлятися на заводах-виробниках рухомого складу й входити до комплекту поставки. Дозволяється виготовлення бокових покажчиків транспортними підприємствами або іншими організаціями. Назви пунктів зупинок на передніх і бокових покажчиках наносяться українською мовою. Допускається дублювання іншими мовами, прийнятними для населення. Освітлення переднього й заднього покажчиків маршрутів, а також розміри інформаційних написів повинні забезпечити їх читання у світлий і темний час доби на відстані не менше 15 м, бокового покажчика - не менше 3 м, інвентарних номерів - до 30 м. Читаність інформації визначається візуально.

Схеми маршрутів призначені для інформування пасажирів про послідовність проходження усіх пунктів зупинок маршруту. Вони повинні встановлюватися у салонах рухомого складу в місцях, зручних для огляду пасажирями.

Інформаційні таблички в салоні обов'язково повинні містити інформацію про:

- інвентарний номер рухомого складу;
- номер телефону підприємства міського електротранспорту;
- місця для пасажирів з дітьми та інвалідів (для міських маршрутів);
- місце розташування вогнегасника ;
- місця розташування кнопок екстреної зупинки та аварійного відкривання дверей;
- місце розташування аптечки;
- правила користування рухомим складом ;
- вхід і вихід;
- місця аварійних виходів (через вікна, двері, люки) із зазначенням способу відкривання.

Виробничо-технічний облік

Вимоги до обліку встановлюються Правилами експлуатації трамвая і тролейбуса. Облік повинен забезпечувати :

- вчасне отримання інформації про умови праці, пробіг і технічний стан

парку рухомого складу в цілому і кожної одиниці зокрема (готовність до випуску на лінію, необхідність проведення і перебування на технічному обслуговуванні або ремонті тощо);

- реєстрацію робіт з технічного обслуговування та ремонту кожної одиниці рухомого складу, виконаних за весь строк служби, а також кількості витрачених агрегатів, вузлів, деталей і матеріалів ;
- проведення поточного аналізу діяльності структурних підрозділів ;
- персональну відповідальність робітників за якість виконання технічного обслуговування і ремонту рухомого складу ;
- можливості ручної та механізованої обробки інформації з використанням єдиних форм обліку.

Кожне трамвайне депо повинно мати такі книги (журнали):

- книгу ремонтів - для обліку технічного обслуговування і ремонтів трамвайних вагонів;
- книгу заявок і книгу повторних заявок водіїв про несправності вагонів;
- журнал щомісячного заміру бандажів колісних пар;
- журнал обліку замірів питомого опору руху;
- журнал обліку замірів акумуляторних батарей.

Кожне тролейбусне депо повинно мати такі книги (журнали):

- книгу ремонтів - для обліку технічного обслуговування і ремонтів тролейбусів;
- книгу заявок і книгу повторних заявок водіїв про несправності тролейбуса;
- журнал заміру тиску в шинах;
- журнал обліку шин;
- журнал заміру опору електричної ізоляції і струмів витікання;
- журнал обліку замірів питомого опору руху;
- журнал обліку замірів акумуляторних батарей.

На кожний трамвайний вагон і тролейбус повинні бути заведені технічні журнали, технічні паспорти й ремонтні формуляри встановленої форми, а також формуляри на основні агрегати: тягові двигуни, мотор-компресор, високовольтні допоміжні двигуни, колісні пари, задні мости, шини, тягово-зчіпні прилади.

Форма і ведення технічного журналу трамвайного вагона або тролейбуса повинні відповідати Положенню, затвердженому Держжитлокомунгоспом України. Технічний журнал повинен бути прошнурований і пронумерований. У ньому повинні відображатися всі несправності, виявлені у процесі експлуатації,

а також дані про проведені під час технічного обслуговування роботи та про готовність рухомого складу до випуску на лінію. Технічний журнал трамвайного вагона або тролейбуса із завіреними відмітками про виконання технічного обслуговування, усунення несправностей, в тому числі за заявками водіїв, та готовність до випуску повинен передаватися диспетчеру депо з випуску.

Водій трамвайного вагона або тролейбуса перед виїздом на лінію отримує технічні журнали на кожний трамвайний вагон або тролейбус у диспетчера і повертає їх після прибуття в депо приймальнику (черговому майстру).

У разі наявності в технічному журналі трамвайного вагона або тролейбуса повторних заявок на технічні несправності випуск їх на лінію дозволяється тільки після усунення несправностей, підтвердженого підписом начальника цеху технічного обслуговування або головного інженера депо.

Водій перед виїздом на лінію повинен перевірити технічний стан трамвайного вагона або тролейбуса на відповідність вимогам цих Правил і засвідчити його придатність до експлуатації особистим підписом у технічному журналі.

Не рідше одного разу на місяць технічний журнал трамвайного вагона або тролейбуса повинен перевірятися головним інженером депо з оформленням відповідних записів. Технічний журнал трамвайного вагона або тролейбуса зберігається протягом трьох років від дня останнього запису.

Обробку інформації про експлуатацію рухомого складу на лінії, технічне обслуговування, планові й непланові ремонти, прогнозування ресурсу та планування роботи рухомого складу рекомендується проводити з використанням обчислювальної техніки на автоматизованих робочих місцях.

Тема 2. Випуск, робота на лінії та повернення рухомого складу

Вимоги до технічного стану трамвайних вагонів і тролейбусів

Вимоги до транспортних засобів, що перебувають в експлуатації, в частині, яка стосується безпеки пасажирів, безпеки дорожнього руху і охорони навколишнього середовища, встановлюється Правилами експлуатації трамвая і тролейбуса (ПЕТТ), Державними стандартами України (ДСТУ), Державними нормативними актами з охорони праці (ДНАОП), галузевими стандартами (ГСТУ), галузевими комунальними нормами (ГКН), місцевими комунальними нормами (МКН) та іншими нормативними документами України, що затверджені у встановленому порядку.

Обов'язки забезпечення належного технічного стану рухомого складу покладаються на керівників підприємств міського електротранспорту і керівників підрозділів, які здійснюють технічне обслуговування, ремонт та експлуатацію трамвайних вагонів і тролейбусів.

Важливим питанням організації експлуатації рухомого складу є регламентація підстав для заборони його експлуатації. Як правило, ці підстави визначаються Правилами експлуатації трамвая і тролейбуса, які регламентують таку заборону в разі:

- відсутності затверджених в установленому порядку технічних умов;
- відсутності сертифіката якості рухомого складу, ввезеного на територію України;
- невідповідності конструкції затвердженій технічній документації підприємств-виробників;
- переобладнання транспортних засобів з порушенням вимог правил експлуатації трамвая і тролейбуса;
- невідповідності реєстраційних даних записам у документах про реєстрацію (технічному паспорті, технічному або реєстраційному талоні);
- порушення вимог чинних стандартів та інших нормативних актів під час виготовлення обладнання систем, що забезпечують безпеку руху, технічного обслуговування і ремонтів;
- відсутності інвентарних номерів ;
- відсутності завірених записів у технічних журналах трамвайних вагонів і тролейбусів про проведення відповідного технічного обслуговування, ремонту та усунення несправностей за заявками водіїв;
- досягнення граничного пробігу (граничного строку служби), якщо спеціальною комісією, призначеною керівником підприємства міського електротранспорту, не зроблено висновків про придатність до експлуатації з пасажирами;
- повної або часткової відсутності екіпірування, передбаченого правилами експлуатації трамвая і тролейбуса.

Випуск рухомого складу на лінію

Підготовлений до випуску на лінію трамвайний вагон повинен бути екіпірований:

- вуглекислотним (порошковим) вогнегасником або ящиком (мішечком) із сухим піском;
- лобовими, задніми й боковими маршрутними показчиками;

- правилами користування трамваєм;
- гучномовною установкою, кабінним устаткуванням АСДУ - Е, якщо це передбачено конструкцією;

- противідкочувальним упором;
- знаком аварійної зупинки;
- буксирною зчіпкою;
- піском у пісочницях;
- ломом для перевodu стрілок.

Водій трамвайного вагона повинен мати:

- ручку реверса, якщо це передбачено конструкцією;
- необхідний інструмент;
- комплект плавких запобіжників;
- діелектричні рукавиці;
- комбіновані рукавиці;
- дорожній лист;
- розклад руху;
- технічний журнал кожного трамвайного вагона;
- оранжевий сигнальний жилет.

Підготовлений до випуску на лінію тролейбус повинен бути екіпірований:

- вуглекислотним (порошковим) вогнегасником або ящиком (мішечком) із сухим піском;

- лобовими, задніми та боковими маршрутними покажчиками;
- правилами користування тролейбусом;
- гучномовною установкою, кабінним устаткуванням АСДУ - Е, якщо це передбачено конструкцією;

- противідкочувальним упором;
- знаком аварійної зупинки.

Водій тролейбуса повинен мати:

- ручку реверса, якщо це передбачено конструкцією;
- необхідний інструмент;
- комплект плавких запобіжників та запасні вставки головки струмоприймачів;
- діелектричні рукавиці;
- комбіновані рукавиці;
- дорожній лист;
- розклад руху;

- технічний журнал тролейбуса;
- оранжевий сигнальний жилет.

Комплект інструментів та запобіжників для кожного типу рухомого складу затверджується головним інженером підприємства міського електротранспорту.

Призначений за нарядом водій зобов'язаний:

- прибути у встановлений час до диспетчера з випуску;
- пред'явити документи на право управління трамвайним вагоном або тролейбусом, звірити годинник;
- отримати дорожній лист, технічний журнал кожного трамвайного вагона або тролейбуса, розклад руху, радіоустановку, комплект запобіжників та інструментів;
- ознайомитися з наказами, розпорядженнями щодо змін руху на маршрутах, стану погоди та місць проведення ремонтних робіт на трамвайній колії чи на контактній мережі;
- перевірити в технічному журналі наявність штампа про виконане технічне обслуговування, підписів двох майстрів із зазначенням дати, які засвідчують придатність поїзда до експлуатації, а також наявність підпису майстра, що засвідчує усунення несправностей, в тому числі за заявками водіїв.

При наявності повторної заявки усунення несправності повинно бути підтверджено, крім підпису майстра, підписом начальника цеху технічного обслуговування депо або іншої особи, уповноваженої на це наказом керівника депо. У разі невідповідності оформлення технічного журналу вказаним вимогам виїзд на лінію трамвайного вагона або тролейбуса не дозволяється.

Перед випуском на лінію водій повинен перевірити візуально і за приладами технічний стан, комплектність, зовнішній вигляд трамвайного вагона або тролейбуса.

У процесі візуального огляду перевіряється:

- стан контактних вставок та мотузок струмоприймачів;
- стан та кріплення коліс;
- чистота і зовнішній вигляд кузова, салону, кабіни, люків підлоги, кришок і захисних щитків;
- екіпіровка;
- дзеркала заднього огляду;
- скло вікон, розсіювачів ліхтарів.

За допомогою контрольно-вимірювальних приладів у кабіні водій повинен перевірити стан акумуляторних батарей та функціонування

низьковольтної системи живлення. Дозволяється виїзд на лінію, якщо напруга акумуляторної батареї під навантаженням до $1,5\text{ кВт}$ для усіх типів рухомого складу не менше 21 В (для трамвайних вагонів ліній швидкісного трамвая не менше 22 В). У разі вмикання приводу генератора (зарядного пристрою) напруга в низьковольтній мережі повинна зрости, струм заряду акумуляторної батареї за час приймання рухомого складу зменшитися. Тиск повітря та герметичність пневмосистем (падіння тиску) повинні відповідати вимогам п. 3.3.6 «Правил експлуатації трамвая і тролейбуса» [5].

Після візуального огляду й контролю стану за приладами перевіряється випробуванням:

- функціонування гальмівних систем;
- справність рульового управління;
- справність штанговловлювачів;
- справність гідروпідсилювача;
- стан і надійність кріплення зчіпних пристроїв;
- справність звукової і світлової сигналізації;
- чіткість фіксації автоматичних вимикачів силових кіл;
- робота дверей.

До посадки пасажирів на спеціальних ділянках повинні бути перевірені функціонування гальмівних систем, рульового управління, електро- та гідроустаткування.

Умови й порядок проведення перевірок повинні регламентуватися інструкціями, затвердженими керівником підприємства міського електротранспорту.

Після перевірки технічного стану в разі відповідності його вимогам чинних правил водій повинен підтвердити це особистим підписом у поїзному журналі.

Приймання рухомого складу після роботи на лінії

Метою приймання рухомого складу після роботи на лінії є визначення наявності пошкоджень кузова трамвайного вагона або тролейбуса внаслідок незначних і нереєстрованих дорожньо-транспортних пригод. Крім того, на цьому етапі контролюється наявність струму витоку, який перевищує нормативне значення, встановлене правилами експлуатації трамвая і тролейбуса.

Водій під час приймання повинен записати до технічного журналу заявки на виконання ремонту рухомого складу внаслідок пошкоджень, що не призвели

до втрати працездатності рухомого складу. Повний обсяг вимог до дій водія під час приймання рухомого складу, як правило, встановлюється інструкцією, що затверджується керівником підприємства.

Підстави для заборони експлуатації

Правилами експлуатації трамвая і тролейбуса визначено, що експлуатація трамвая і тролейбуса має бути негайно припинена у разі виникнення технічних несправностей і (або) умов, що можуть спричинити до аварійних ситуацій. Перелік підстав для заборони експлуатації наведено у табл. 1.2.1.

Таблиця 1.2.1

<i>Назва системи або складової частини рухомого складу</i>	<i>Перелік підстав</i>
Гальмівні системи	<ul style="list-style-type: none"> · змінена конструкція гальмівних систем, використані вузли або деталі, що не відповідають технічним умовам підприємства-виробника; · гальмівний шлях, визначений як у ході перевірки функціонування гальмівних систем, так і у процесі експлуатації, більший нормативного, а саме: => гальмівний шлях трамвайного вагона (поїзда) при початковій швидкості 20 км/год на чистих сухих рейках за умов службового гальмування не повинен перевищувати 12 м, у разі екстреного гальмування - 5,5 м; => гальмівний шлях тролейбуса при початковій швидкості 20 км/год на рівній сухій дорозі з асфальто (цементно)-бетонним покриттям не повинен перевищувати 4,5 м; => за цих же умов, але з початковою швидкістю для тролейбуса 30 км/год гальмівний шлях не повинен перевищувати 11 м, а для трамвайних вагонів з швидкістю 40 км/год відповідно - 45 та 21 м; · порушена герметичність пневматичного (або пневмогідравлічного) гальмівного приводу, що призводить до падіння тиску повітря при непрацюючому компресорі більш ніж на 0,05 мПа / 5 Н/см кв.; 0,5 кгс/см кв./за 15 хв. при увімкненій гальмівній системі; · не працює манометр гальмівної системи; · не фіксується важіль (педаль, рукоятка) гальмівної системи у робочому положенні; · не діє хоча б один з видів гальм; · несправний хоча б один з приводів механічних гальм; · не діє хоча б один з рейкових електромагнітних гальм (на трамваях).

<i>Назва системи або складової частини рухомого складу</i>	<i>Перелік підстав</i>
Колеса, шини та колісні пари	<ul style="list-style-type: none"> · залишкова висота рисунка протектора в центрі бігової доріжки менше 2,0 мм на довжині більше четвертої частини поверхні шини; · мають місце місцеві пошкодження (порізи, розриви тощо), які оголюють корд, а також розшарування каркаса, відшарування протектора та боковин; · на одній осі встановлено діагональні шини разом з радіальними, а також шини, які мають різний рисунок протектора; · зламана, ослаблена або відсутня хоча б одна шпилька чи гайка кріплення колеса або є тріщини дисків і ободів коліс; · на передніх колесах встановлені шини, відновлені за другою групою ремонту; · тиск у шинах не відповідає встановленим нормам; · несправні замкові кільця або ослаблене їх кріплення на ободі.
Рульове управління	<ul style="list-style-type: none"> · окружний люфт рульового колеса перевищує 25 у положенні керованих коліс відповідно до прямолінійного руху; · утруднене обертання рульового колеса; · несправний гідروпідсилювач рульового управління; · ослаблено або зіпсовано кріплення рульового механізму; · просмоктується мастило з картера рульового механізму.
Підвіска	<ul style="list-style-type: none"> · зруйновано корінний лист або центральний болт ресори, пружини; · не працює регулятор рівня положення кузова (при пневмопідвісках).
Кузов	<ul style="list-style-type: none"> · перекошений кузов. · немає передбаченого конструкцією бампера або заднього захисного обладнання, грязезахисних фартухів та брызговики; · у салоні немає передбачених конструкцією поручнів; · порушено міцність підніжок і поручнів; · пошкоджено ізоляційне покриття поручнів, підніжок або доріжок на покрівлі; · порушено міцність дверей, люків підлоги; · протікає покрівля; · розбито скло (салону, дверей або кабіни водія); · є тріщини та інші пошкодження на передньому склі й дзеркалах заднього огляду; · до скла прикріплено речі або на скло нанесено покриття, які обмежують огляд водія та погіршують прозорість скла; · несправні замок дверей кабіни, механізм регулювання положення сидіння водія, приводи управління дверима, спідометр (тахограф), обладнання для обігрівання та обдування скла;

<i>Назва системи або складової частини рухомого складу</i>	<i>Перелік підстав</i>
	<ul style="list-style-type: none"> · немає піску у пісочницях або він непридатний до використання; · немає клейма на пристроях зчеплення.
Пневматичне обладнання	<ul style="list-style-type: none"> · час наповнення пневматичної системи стиснутим повітрям від нульового до робочого тиску перевищує встановлену норму; · не забезпечується автоматичне підтримування тиску в заданому діапазоні; · порушено герметичність пневмосистеми, що спричинює падіння тиску понад $0,05 \text{ МПа} / 5 \text{ Н/см}^2$ за 15 хв. за умови п.3.3.6.2.1 Правил експлуатації трамвая та тролейбуса; · несправні апарати пневмосистеми (кран водія, гальмівний кран, запобіжний кран, манометр, привод дверей, пісочниці, склоочисник та ін.); · запобіжний клапан не має пломби.
Електричне обладнання	<ul style="list-style-type: none"> · величина струму витікання перевищує 3 мА (для тролейбусів); · порушено функціонування пускорегулюючої та захисної апаратури, допоміжних електричних кіл; · у разі включення двигунів спрацьовують автоматичні вимикачі або перегорають запобіжники силових кіл чи кіл управління; · деформовано струмоприймачі або тиск їх на контактний провід не відповідає нормативному; · "заїдають" шарніри або струмоприймач не фіксується в опущеному положенні; · порушено цілість мотузки (тросу) опускання струмоприймача (знос більше 20%); · не працюють приводи дверей, склоочисників, пісочниць, світлова та звукова сигналізація; · встановлено некалібровані запобіжники; · не працюють контрольно-вимірювальні прилади; · кількість, тип, колір, розміщення та режим роботи зовнішніх світлових приладів не відповідають вимогам документації; · порушено регулювання фар; · не горить ліва фара в режимі ближнього світла; · на світлових приладах немає розсіювачів або використовуються розсіювачі й лампи, які не відповідають типу даного світлового приладу.
Трансмісія	<ul style="list-style-type: none"> · ослаблено кріплення і посадки фланців на валах тягового двигуна та редуктора; · підвищена вібрація, відчутний стук чи шум; · зламалися або ослаблені хоча б одна шпилька картера, кріплення кришок фланця

<i>Назва системи або складової частини рухомого складу</i>	<i>Перелік підстав</i>
Колісні пари трамвайних вагонів	<ul style="list-style-type: none"> · висота реборди бандажа менше 13 мм і товщина менше 8 мм (висота реборди вимірюється від точки на поверхні катання бандажа на відстані 33 мм від бокової грані бандажа зі сторони реборди, товщина реборди на висоті, віддаленій на 5 мм від верхнього канта реборди); · є викришені місця на реборді бандажу; · послаблений бандаж; · товщина бандажу менше 25 мм (товщина вимірюється на відстані 33 мм від внутрішньої грані);
Колісні пари трамвайних вагонів швидкісних ліній	<ul style="list-style-type: none"> · є тріщини на бандажі або колісному центрі; · ослаблено центральну гайку; · ослаблено або зрушено маточину; · ослаблено або обірвано болт кріплення амортизаторів коліс; · є видимі дефекти гумових амортизаторів; · пошкоджено понад 25% площі перетину шунта з гумовою прокладкою колеса. · висота реборди менше 15 мм; · товщина реборди менше 10 мм; · товщина бандажа менше 30 мм.

У разі виникнення хоча б однієї з перелічених несправностей, наведених у табл. 1.2.1, під час експлуатації рухомого складу на лінії водій повинен вжити заходи до їх усунення, а якщо це зробити неможливо - рухатися без пасажирів в депо або до місця стоянки чи ремонту, дотримуючись необхідних застережних заходів та ввімкнувши аварійну світлову сигналізацію.

Правилами експлуатації трамвая і тролейбуса передбачена заборона самостійного руху транспортних засобів до депо з несправностями гальмівної системи, рульового управління, тягово-зчіпного обладнання поїзда, при струмові витікання більше 3 мА (на тролейбусах), а в темний час доби на дорогах без штучного освітлення або в умовах недостатньої видимості - з несправними фарами й задніми габаритними вогнями, в дощ або снігопад - у разі несправності склоочисників з боку водія. У цьому разі транспортний засіб, який не може самостійно рухатися в депо, повинен очікувати прибуття аварійної бригади, при цьому на ньому повинна бути ввімкнена аварійна сигналізація, а в разі її відсутності або несправності встановлений знак аварійної зупинки або миготливий червоний ліхтар на відстані не менше 20 м від транспортного засобу в населених пунктах і 40 м поза ними.

Усунення несправностей на лінії

Для усунення незначних несправностей повинні бути організовані лінійні ремонтні пункти, що забезпечуються необхідними інструментами, пристроями, приладами й запасними частинами. Їх перелік та порядок застосування затверджено головним інженером депо.

Лінійні ремонтні пункти комплектуються кваліфікованими слюсарями з ремонту рухомого складу, які добре обізнані з усіма видами обладнання та ремонтних робіт, а також правилами охорони праці при проведенні цих робіт. Лінійний ремонтний персонал перебуває в оперативному підпорядкуванні диспетчера служби руху.

Виконання ремонтних робіт на рухомому складі водієм або лінійним слюсарем має бути засвідчене відповідним записом у книзі поїзда та особистим підписом.

Для швидкої ліквідації затримок руху через несправності рухомого складу на лінії або через дорожньо-транспортні пригоди повинна бути організована служба швидкої технічної допомоги.

Швидка технічна допомога, як правило, надається спеціальними ремонтними бригадами депо згідно з оперативними вказівками старшого (центрального) диспетчера.

Бригади швидкої технічної допомоги забезпечуються транспортними засобами й перебувають у стані постійної готовності.

Транспортні засоби швидкої технічної допомоги оснащуються підйомними механізмами, приладами, необхідними інструментами та запасними частинами, пристроями для виконання безпечної роботи, засобами огороження та сигналізації.

Відповідні підрозділи депо або служби повинні контролювати передачі змін та поповнення мінімального запасу запчастин (інструментів, матеріалів та ін.).

Транспортні засоби бригад швидкої технічної допомоги повинні бути обладнані двостороннім радіозв'язком.

Керівництво роботою бригад швидкої технічної допомоги здійснює бригадир (майстер), який прибув на місце пошкодження першим, або працівник з інженерно-технічного персоналу, який прибув спеціально для керівництва роботою.

Усі працівники підприємства міського електротранспорту зобов'язані сприяти бригадам швидкої технічної допомоги в оперативній ліквідації затримки руху.

Бригади швидкої допомоги повинні щоденно представляти своєму безпосередньому керівникові інформацію про несправності рухомого складу, виконані роботи для їх усунення та затратений на це час.

Зберігання рухомого складу

Зберігання рухомого складу виконується під час очікування випуску на лінію або ремонту (обслуговування).

Рухомий склад, що очікує випуску, зберігається на майданчиках, де він, як правило, виставляється згідно з номерами випусків по кожному маршруту. Операції встановлення рухомого складу на майданчику зберігання виконуються маневровими водіями, згідно за планом з випуску. Принциповим питанням щодо збереження є забезпечення вимог безпеки технологічного циклу експлуатації рухомого складу. Серед головних вимог безпеки є:

- виключення усіх споживачів електричної енергії на рухомому складі (виключення вимикачів) і від'єднання струмоприймачів (пантографа) від контактної мережі та приведення їх у фіксоване положення;
- приведення в дію стоянкової гальмівної системи тролейбуса і трамвайного вагона;
- зачинення всіх дверей.

Розміщення рухомого складу на майданчику зберігання виконується з урахуванням вимог пожежної безпеки, які передбачають наявність нормованих відстаней між рухомим складом, а саме:

- пожежний проїзд шириною 3,5 м через кожні 100 м довжини ряду рухомого складу;
- відстань між передньою і задньою частинами двох рухомих одиниць, які стоять один за одним, 0,5 - 1 м;
- відстань між боковими частинами рухомого складу двох рядів не менше 3,5 м;
- наявність проїзду між рядами тролейбусів, що стоять під однією контактної мережею, не менше 1,5 м.

Кожен майданчик зберігання повинен бути обладнаний засобами вогнегасіння.

Очікування обслуговування або ремонту рухомого складу, як правило, виконується на накопичувальних майданчиках цеху технічного обслуговування або ремонту. Слід окремо підкреслити, що не кожне депо має такі накопичувальні майданчики або їх місткість не забезпечує потреб технологічного процесу. У цьому разі очікування ремонту або обслуговування виконується на майданчиках зберігання.

Запитання до самоперевірки

1. Основні вимоги до працівників міського електротранспорту.
2. Назвати основні функції підприємств, що експлуатують технічні засоби міського електротранспорту.
3. Які основні функції підприємств з ремонту технічних засобів міського електротранспорту?
4. Який порядок реєстрації, обліку і переоснащення (переобладнання) рухомого складу?
5. Вимоги до технічного стану рухомого складу. Назвати основні несправності рухомого складу, з якими забороняється експлуатація трамвая і тролейбуса.
6. Який порядок введення в експлуатацію нового рухомого складу?
7. Чи може бути подовжено строк експлуатації рухомого складу, що відпрацював встановлений термін?
8. Що включає інформаційне забезпечення рухомого складу.
9. Які вимоги до виробничо-технічного обліку? Основні форми первинного обліку в депо.
10. Що включає екіпіровка рухомого складу перед випуском на лінію?
11. Призначення та організація роботи швидкої технічної допомоги.
12. Якими способами встановлюється зв'язок водія з центральним диспетчером?
13. Кому підпорядковується водій під час роботи на лінії?
14. Те ж при буксируванні несправної одиниці в депо?

Модуль 2. РУХОМИЙ СКЛАД ЯК ОБ'ЄКТ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Тема 3. Основні поняття і визначення

Рухомі одиниці як системи

Головною функцією рухомого складу є виконання роботи з перевезення пасажирів за умови дотримання графіку і безпеки руху. При цьому всі технічні параметри складових частин рухомих одиниць повинні знаходитися в межах визначених нормативною документацією допусків. Наприклад, повинні підтримуватися у встановлених межах тиск в шинах тролейбусів, струмові уставки в системах керування, сили натискання колодок у механічних гальмах тощо.

З найбільш загальних позицій кожна рухома одиниця являє собою набір систем, що складається з конструктивно і функціонально об'єднаних сукупностей елементів [8, 9]. Елементи, як частини систем, не мають самостійного (поза системами) експлуатаційного призначення і виконують у них задані функції.

Для будь-яких матеріальних систем істотне значення має їхнє визначення як об'єктів відновлюваних і невідновлюваних, ремонтопридатних і ремонтнепридатних, що цілком визначає рішення, яке приймається при відмові об'єкта. Відновлюваним у певній ситуації вважається об'єкт, працездатність якого може бути відновлена. При цьому важливо оцінити можливість або неможливість відновлення працездатності - багатьох випадках складові частини рухомого складу, несправності й відмови яких легко усуваються в умовах депо, виявляються невідновлюваними під час роботи на маршруті через обмеженість часу на відновлення (що більш характерно для трамвайних вагонів) та відсутністю необхідних технічних засобів і умов.

Існують певні складові частини рухомого складу (бандажі колісних пар, гальмівні барабани та ін.), що втрачають властивість відновлення при досягненні деякого напрацювання, коли їхні розміри виходять за припустимі межі. Однак більшість складових частин рухомого складу можна визначити однозначно як відновлювані або невідновлювані за весь термін служби до граничного стану. Наприклад, елементи електроніки напівпровідникової техніки систем керування тяговим двигуном, підшипники кочення, осі колісних пар, лампи освітлювальні й сигнальні, фільтруючі елементи, різні пружини (за наявності тріщин) є невідновлюваними об'єктами в будь-якій експлуатаційній ситуації. Для умов депо або ремонтного заводу багато складових частин

рухомого складу, такі як компресор, електричні машини й апарати, редуктори та ін. - є відновлюваними об'єктами.

Отже, при аналізі, дослідженні й розробці заходів для підвищення надійності необхідно оцінювати й визначати ситуації, в яких можливе або неможливе відновлення працездатності об'єкта.

Поняття ремонтпридатний або ремонтнепридатний об'єкти стосовно рухомого складу так, як і в загальних випадках, характеризують пристосованість об'єктів до проведення ремонтів і технічного обслуговування. Ремонтпридатність - це пристосованість об'єкта до попередження і виявлення причин виникнення його відмов, пошкоджень і усунення їх наслідків шляхом проведення ремонтів і технічного обслуговування.

Можна підкреслити лише те, що навіть якщо вузол не можна відремонтувати в умовах даного депо, він все-таки є ремонтпридатним об'єктом, оскільки його ремонт можна виконати в інших умовах, наприклад, на заводі. Таким чином, якщо об'єкт є ремонтпридатним, то відновлення його працездатності завжди можливе.

Представлення рухомого складу як системи елементів дозволяє конкретизувати завдання забезпечення працездатності й розробляти заходи для її підвищення. З цього також випливає, що повинно розглядати не тільки рухомий склад в цілому, а й окремі елементи, і належна працездатність має забезпечуватися на стадіях проектування, виготовлення, експлуатації, ремонту і випробувань.

Внутрішні взаємодії елементів та систем рухомої одиниці

Як окремі елементи, так і системи рухомої одиниці взаємодіють між собою, що може бути відображене певними схемами. Проте схеми взаємозв'язків систем і елементів недостатні для визначення залежностей і кількісних характеристик надійності, оскільки вони відбивають тільки конструктивні й функціональні зв'язки. Дослідженню надійності більше відповідають структурні, логічні блок-схеми, в яких елементи з'єднані послідовно й паралельно, з точки зору їхнього якісного і кількісного впливу на надійність системи. Зокрема, при послідовному з'єднанні стан елемента визначає надійність системи, в яку він входить. При паралельному з'єднанні відмова одного з елементів може і не привести до відмови всього пристрою.

Описи і характеристики одиниць рухомого складу як об'єктів, працездатність яких підлягає дослідженню, доцільно починати з подання їх у вигляді деякої системи елементів. Тут, як і для будь-яких технічних пристроїв,

дуже важливий рівень розгляду. На рис. 2.3.1 наведений зразок структурної схеми трамвая як системи, що складається з елементів, для декількох можливих рівнів розгляду.

Вагони можна розглядати як окремі елементи системи - трамвайного депо - чий рівень працездатності очевидно визначається кількістю працездатних на даний момент вагонів. На другому рівні розгляду системою вважається вагон в цілому, а електроапаратура, механічна частина, двигуни тощо відіграють роль елементів, працездатність яких визначає працездатність рухомої одиниці.

На третьому рівні вагон деталізується більш глибоко - виокремлюються певні сукупності, призначені для виконання певних функцій, що мають сенс систем, а частини, що входять до цих сукупностей, розглядаються як їхні елементи. Наприклад, елементами системи тягового електродвигуна є якір, остов, підшипники і т.д.

Йдучи далі, на четвертому рівні елементами вважаються окремі деталі і вузли складальних одиниць, що стають таким чином системами. У тому ж прикладі в системі якоря елементами є обмотка, вал, колектор тощо. Більш глибока деталізація зрештою призводить до окремих деталей, у яких елементами є фізико-механічні та фізико-хімічні показники матеріалів, геометричні розміри, ступінь втомленості і т.д. Зазначена схема, безумовно, не претендує на універсальність і залежно від завдань аналізу може бути змінена.

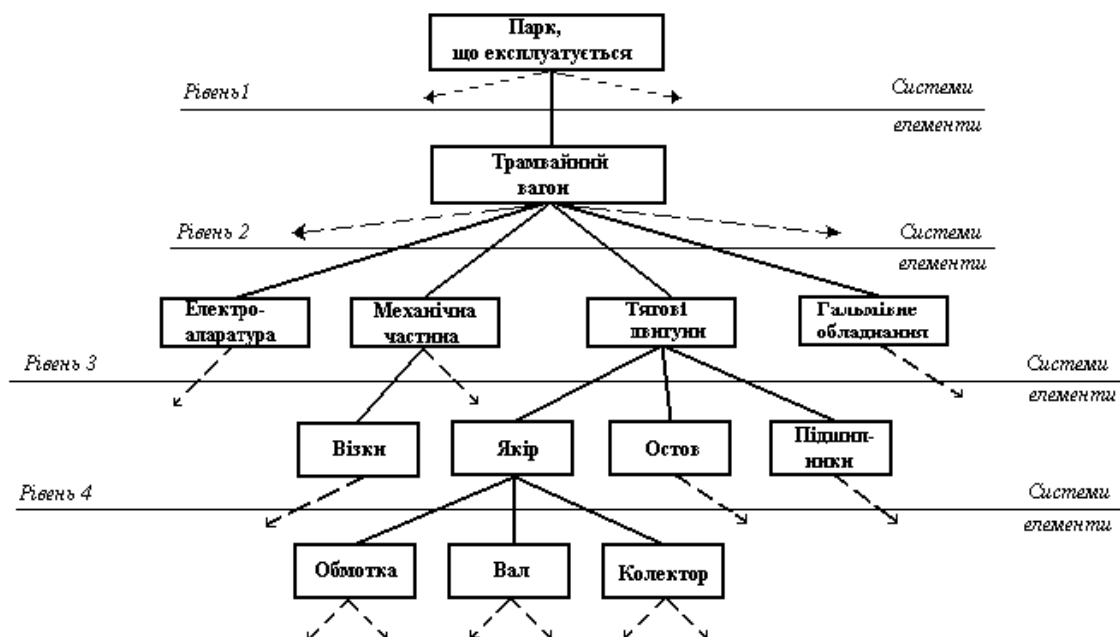


Рис. 2.3.1 – Приблизна схема зв'язків систем і елементів для аналізу надійності трамвая

Стани, у яких може перебувати рухома одиниця

Стан, в якому може знаходитися об'єкт, визначається залежно від вимог, що встановлені нормативними документами (наприклад, Настанова з середнього (капітального) ремонту). Так, справним є такий стан об'єкта, при якому він відповідає усім вимогам, встановленим нормативно-технічною документацією. Якщо хоча б одна з таких вимог не виконується, то об'єкт переходить у несправний стан, тобто виникає його несправність.

Якщо об'єкт при порушенні справності здатний виконувати задані функції, зберігаючи задані параметри в межах, встановлених нормативно - технічною документацією, то він знаходиться у працездатному стані, тобто зберігає свою працездатність. У непрацездатному стані об'єкт перебуває, якщо від не спроможний виконувати покладені на нього функції або їх виконання загрожує безпеці пасажирських перевезень.

Таким чином, поняття справності ширше, ніж працездатність. Працездатний об'єкт може бути несправним, але несправність при цьому не може бути істотною і не може порушувати нормального функціонування об'єкта.

Граничним є такий стан об'єкта, при якому його подальша експлуатація повинна бути припинена або стає неможливою. Ознаки (критерії) такого стану об'єкта повинні бути встановлені його нормативно-технічною документацією. Ремонтнепридатний об'єкт досягає граничного стану при виникненні відмови або при досягненні заздалегідь встановленого граничного терміну служби чи сумарного напрацювання.

Для ремонтнепридатних об'єктів граничний стан настає в момент, коли подальша експлуатація стає неможливою або недоцільною з наступних причин:

- порушення вимог безпеки, безвідмовності або зниження ефективності;
- зношення і (чи) старіння до такого стану, за якого ремонт вимагає неприпустимо великих витрат або не забезпечує необхідного ступеня відновлення працездатності й справності.

Для складальних одиниць рухомого складу момент досягнення граничного стану найчастіше визначається умовами забезпечення безпеки руху, неприпустимим зниженням ефективності використання і безвідмовності, неможливістю відновлення працездатності без великих витрат.

Таким чином, у процесі свого існування об'єкти можуть знаходитися в одному із зазначених станів і переходити з одного стану в інший. Такі переходи є подіями, що розрізняються залежно від того, чи порушується справність або працездатність. Серед термінів, що відбивають специфіку надійності рухомого складу, найбільш важливими є поняття відмови та пошкодження.

Відмови і пошкодження рухомих одиниць

Відмова рухомого складу – це подія, що полягає в порушенні працездатності рухомого складу, внаслідок чого необхідне відновлення або заміна складової частини, чи регулювання її характеристики у період між плановими видами технічного обслуговування чи ремонтів. Відмова настає, якщо відновлення (заміна, регулювання) не входить в обсяг обов'язкових робіт з технічного обслуговування і якщо необхідний для їхнього виконання час або трудомісткість перевищує встановлені норми.

Пошкодження – подія, що полягає в порушенні справності об'єкта. Для рухомого складу велике значення має розмежування і співвідношення понять відмови й пошкодження в різних умовах і ситуаціях. Пошкодження рухомого складу може бути істотним і несуттєвим залежно від наслідків переходу від справного стану до несправного. Якщо при такому переході виявляється порушення працездатності, то відбулося істотне пошкодження, тобто відмова. Перехід у несправний стан при збереженні працездатності є несуттєвим пошкодженням.

При несуттєвому пошкодженні не повинно бути прояву жодної з ознак відмови. Експлуатація рухомого складу може бути продовжена до найближчого технічного обслуговування або планового ремонту, на яких це пошкодження усувається без перевищення планового обсягу робіт. В експлуатації РС можливі випадки, коли несуттєві пошкодження окремих деталей можуть перейти в категорію істотних. Наприклад, поверхневе пошкодження ізоляції електричної машини або апарата протягом деякого часу може не відбиватися на їхній працездатності, але надалі може призвести до пробою ізоляції і до відмови не тільки цієї машини, але й рухомого складу в цілому.

Ознакою відмови або віднесення пошкодження до відмови, що впливає з визначення, є необхідність проведення будь-якого ремонту чи виду робіт із заміни складової частини рухомого складу. При цьому визначальним для класифікації події у вигляді відмови рухомого складу є неможливість її випуску на маршрут через наявність істотного пошкодження: пошкодження, виявлене при виконанні планового технічного обслуговування або ремонту складової частини рухомого складу, що призводить до перевищення обсягу робіт, вважається прихованою відмовою цієї складової частини. Якщо ж це пошкодження призводить до збільшення трудомісткості чи простою в ремонті рухомого складу проти встановлених норм, то воно вважається прихованою відмовою рухомого складу в цілому. Критеріями відмови, за допомогою яких

встановлюється подія - порушення працездатності рухомого складу, є наступні прояви:

- невиконання показників графіка руху;
- факт відновлення працездатності рухомого складу водієм під час роботи на маршруті без порушення графіка руху;
- випадок виконання непланового ремонту;
- перевищення встановленого обсягу робіт з відновлення, заміни, регулювання будь-якої складової частини рухомого складу на плановому технічному обслуговуванні або ремонті, що викликає при цьому збільшення часу простою, трудомісткості ремонту рухомого складу в порівнянні з нормами, встановленими технічною нормативною документацією.

Слід відмітити, що треба розрізняти відмову рухомого складу в цілому і відмову складової частини. Якщо відмова складової частини не викликає наслідків у вигляді зазначених критеріїв відмов, то це не означає відмову рухомого складу. Якщо в результаті відмови складової частини проявився хоча б один з критеріїв відмови, має місце одночасно і відмова рухомого складу в цілому. Особливе місце займає випадок порушення працездатності рухомого складу, хоча жодна з її складальних одиниць не відмовила (сходження з рейок, зіткнення, дорожньо-транспортна подія).

Дослідження, аналіз, оцінка надійності рухомого складу та його складальних одиниць не можливі без ретельного документального обліку факторів порушення працездатності. Такий облік вимагає використання окремих критеріїв, якісних характеристик відмов і пошкоджень, тобто визначення характеру, причин, наслідків і вжитих заходів щодо їх усунення.

Практикою експлуатації і теоретичними узагальненнями встановлено, що причинами відмов можуть бути недоліки конструкції, низька якість виготовлення, порушення правил обслуговування і ремонтів, вплив підвищених навантажень і вплив метеорологічних факторів, руйнування допоміжних і сполучених елементів систем, природні процеси зношування і старіння.

При оцінці надійності об'єктів рекомендується враховувати тільки ті відмови, що не виявилися наслідком порушення правил і норм експлуатації, але специфічні умови виготовлення та експлуатації рухомого складу визначають необхідність окремого обліку подібних відмов.

Встановлена типова класифікація відмов з наступних причин:

- конструкційна і виробнича - відмови, викликані порушенням правил і (чи) норм конструювання, процесу виготовлення;

- експлуатаційна і ремонтна - відмови, що виникають в результаті порушення встановлених правил експлуатації і (чи) технічного обслуговування і ремонту в депо;

- ремонтна - відмова через порушення встановлених правил і (чи) норм конструювання, процесу чи виконання ремонту на ремонтних заводах.

Показники стану рухомої одиниці

Показник надійності — це кількісна характеристика одного чи декількох властивостей, що обумовлюють здатність об'єкта виконувати свої функції. Чисельне значення показників може виражатися розмірними чи безрозмірними величинами, воно може змінюватися залежно від умов експлуатації й етапів існування об'єкта. Формулювання показника, звичайно, відображає і спосіб визначення його чисельного значення розрахунковим чи дослідним шляхом. Багато показників надійності є параметрами розподілу випадкової величини. У цьому розділі розглянуті лише основні визначення термінів показників надійності, методи розрахунку кількісних значень будуть наведені в наступних розділах.

Для кількісної характеристики тільки однієї властивості надійності об'єкта служить одиничний показник. Комплексний показник відноситься до декількох властивостей, що складають надійність.

При визначенні показників широко використовується поняття напрацювання - тривалість або обсяг роботи об'єкта. Напрацювання вимірюється залежно від виду роботи об'єкта в одиницях часу, довжини, площі, об'єму, маси та інших одиниць. Загальне поняття напрацювання стосовно рухомого складу може бути конкретизовано (години роботи, кілометри пробігу, пасажиро-кілометри виконаної роботи). Залежно від умов експлуатації і цілей аналізу розрізняють добове, місячне напрацювання, напрацювання до першої відмови, напрацювання між відмовами. Якщо об'єкт працює з перервами, то враховується сумарне напрацювання. Окремо може враховуватися напрацювання у тому чи іншому режимі.

Напрацювання від початку експлуатації об'єкта до настання граничного стану є технічним ресурсом. Ресурс може також відраховуватися від моменту поновлення експлуатації після середнього чи капітального ремонту до граничного стану.

Поняття термін служби визначає календарну тривалість експлуатації від початку або поновлення експлуатації об'єкта після середнього або капітального ремонту до граничного стану.

Термін зберігання - це календарна тривалість збереження і (чи) транспортування об'єкта в заданих умовах. Протягом цього терміну і після нього в об'єкта зберігаються задані показники у встановлених припустимих межах.

Розглянемо терміни, що визначають ряд основних одиничних показників надійності рухомого складу.

Імовірність безвідмовної роботи— це статистичний показник. Він використовується для характеристики безвідмовності рухомого складу і його складальних одиниць за першими відмовами, який розглянутий в інтервалі напрацювання і визначається як імовірність того, що в межах цього інтервалу відмова об'єкта не виникне.

Статистично імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ визначається відношенням числа об'єктів $N(t)$, що безвідмовно проробили протягом напрацювання t , до числа об'єктів N , які працездатні до початкового моменту $t=0$, тобто

$$P(t) = \frac{N(t)}{N}$$

Середнє напрацювання до відмови - показник, що також характеризує властивість безвідмовності об'єктів. Визначається він як математичне сподівання напрацювання об'єкта до відмови в ремонтоне придатних виробках або до першої відмови в ремонтоне придатних виробках, тобто $t_{cp} = M[t]$.

Інтенсивність відмов визначає властивість безвідмовності ремонтоне придатних об'єктів. Звичайно цей показник позначається як $\lambda(t)$ і являє собою умовну щільність імовірності виникнення відмови невідновлюваного об'єкта, яка зумовлена для розглянутого моменту часу (напрацювання) t за умови, що до цього моменту відмова не виникла. Якщо щільність імовірності відмов позначити через $f(t)$, а імовірність безвідмовної роботи через $P(t)$, то, враховуючи вираження імовірності безвідмовної роботи через функцію відмов $F(t)$:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)}.$$

Для рухомого складу і їх ремонтоне придатних складальних одиниць подібною характеристикою безвідмовності є параметр потоку відмов - щільність імовірності виникнення відмови відновлюваного об'єкта, обумовлена для розглянутого моменту часу. Модель експлуатації сукупності відновлюваних виробів можна описати в такий спосіб. Після деякого напрацювання в кожного з виробів може відбутися відмова. Після відновлення

об'єкт продовжує свою роботу. Час відновлення не враховується. Моменти відмов в таких умовах створюють деякий потік відмов. Найчастіше цей потік є ординарним без післядії [10]. У такому потоці дуже мала імовірність появи одночасно більше однієї відмови, а імовірність появи відмови виробу не залежить від відмов, що раніше мали місце. Як характеристику такого потоку відмов використовують математичне сподівання числа відмов M об'єкта за час t :

$$M[r(t)] = \int_0^t \omega(x) d(x),$$

де $\omega(x)$ - параметр потоку відмов, який визначає собою інтенсивність цього потоку.

Середнє напрацювання до відмови як показник безвідмовності впливає з розглянутої моделі експлуатації ремонтопридатних виробів і є відношенням сумарного напрацювання однотипних об'єктів до математичного сподівання загального числа їх відмов протягом цього напрацювання.

Для характеристики безвідмовності ремонтопридатних, довговічності ремонтнепридатних об'єктів використовують показник гама-відсоткового напрацювання. Якщо γ - обумовлений відсоток об'єктів, то t_γ - гама-відсоткове напрацювання, протягом якого не відмовлять (чи не досягнуть граничного стану) γ відсотків об'єктів даного типу. Очевидно, що

$$P(t_\gamma) = \frac{\gamma}{100}$$

Показниками довговічності рухомого складу і їхніх складальних одиниць є різного типу середні ресурси і терміни служби, за допомогою яких також характеризують міжремонтні періоди.

Середній ресурс (термін служби) визначається як математичне сподівання ресурсу (терміну служби) деякої оцінюваної сукупності рухомого складу. Якщо вказується призначений ресурс, то він визначає міжремонтний період, тобто нормоване сумарне напрацювання, при досягненні якого повинен виконуватися один із встановлених типів технічного обслуговування чи ремонту. Розрізняють середні ресурси залежно від того, який ремонт потрібний для їх часткового чи повного відновлення. Може бути, наприклад, середній ресурс до середнього чи капітального ремонтів. Якщо при досягненні граничного стану об'єкт не підлягає відновленню, то говорять про середній ресурс до списання. Аналогічно розрізняють середні терміни служби.

Одиничні показники ремонтопридатності - це імовірність відновлення в заданий час і середній час відновлення.

У поняття «час відновлення» включають час, що витрачається на виявлення, пошук причини відмови й усунення її наслідків. Імовірність відновлення розглядають, як імовірність того, що фактичний час відновлення не перевищить заданий. Середній час відновлення оцінюється математичним сподіванням часу відновлення працездатності об'єкта.

γ - відсотковий термін зберігання, оцінюваний як термін, що досягається із заданою імовірністю відсотків, і середній термін зберігання, що є математичним сподіванням цього терміну, представляють одиничні показники збереження.

Показник коефіцієнт відмов – K_v - застосовують для класифікації груп відмов за типами устаткування, причин, наслідків та інших ознак.

$$K_v = \frac{m_k}{m},$$

де m_k - число відмов з даною ознакою;

m - загальна кількість відмов в аналізованій вибірці.

Комплексні показники надійності рухомого складу у більшості випадків характеризують безвідмовність і ремонтпридатність одночасно і можуть бути виражені у відносному вигляді, в питомих і реальних трудових, матеріальних і грошових витратах.

Коефіцієнт готовності – K_g — важливий комплексний показник, його величина залежить, крім інших факторів, від числа відмов і часу відновлення. Він оцінюється як частка сумарного часу перебування деякої сукупності рухомого складу у працездатному стані стосовно суми цього часу і загального часу відновлення працездатності рухомого складу після відмов, якщо вони відбулися за аналізований період.

У загальний час відновлення входять:

- простій рухомого складу на маршруті, викликаний його відмовою;
- час транспортування до депо чи пункту, де виконується відновлення;
- час відновлення працездатності.

Час очікування відновлення не враховується.

Коефіцієнт технічного використання - K_{mv} - також комплексний показник. Він враховує не тільки число відмов і час відновлення, але і технічне оснащення ремонтного виробництва, якість технології обслуговування і ремонту, кваліфікацію ремонтного персоналу. Визначається цей показник відношенням сумарного часу перебування деякої сукупності рухомого складу у працездатному стані за аналізований період до суми цього часу і сумарного

часу простоїв рухомого складу цієї сукупності у всіх видах технічного обслуговування, ремонту, а також часу відновлення їхньої працездатності після відмов.

Очевидно, що скорочення простою рухомого складу у планових і непланових видах технічного обслуговування і ремонтів може підвищити коефіцієнт $K_{тв}$, на що істотно впливає й відпрацювання технологічних процесів у депо.

До комплексних показників відносять середні, а також питомі сумарні трудомісткості (вартості) технічного обслуговування чи ремонтів, оцінювані як математичні сподівання відповідних трудомісткостей або вартостей технічних обслуговувань усіх видів ремонтів рухомого складу за певний період експлуатації.

Питомі сумарні трудомісткості є відношенням середніх сумарних трудовитрат або вартостей до математичного сподівання сумарного напрацювання об'єкта за той самий період експлуатації. Повнота переліку показників визначається цілями і завданнями аналізу надійності.

Узагальнені показники властивостей рухомих одиниць

Показники надійності рухомого складу та його складових частин визначають узагальнені характеристики як показники ефективності витрачених на його придбання коштів та зусиль персоналу сфери технічної експлуатації - безвідмовність, довговічність та збереженість. Безвідмовність – це властивість об'єкта безперервно зберігати працездатність протягом деякого часу або деякого напрацювання. Властивістю безвідмовності об'єкт володіє як у період його використання, так і в періоди збереження і транспортування.

Довговічність - властивість об'єкта зберігати працездатність до настання граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування і ремонту.

Збереженість - властивість об'єкта безперервно зберігати справний і працездатний стан протягом (і після) терміну збереження і (чи) транспортування, тобто до початку експлуатації.

Безвідмовність, довговічність і збереженість рухомого складу в експлуатації повинна бути забезпечена системою своєчасних ремонтно-профілактичних заходів.

Забезпечення справності рухомих одиниць

Справність рухомого складу забезпечується системою цілеспрямованих дій з технічного обслуговування і ремонту. Технічне обслуговування - це

комплекс робіт для підтримки справності й працездатності об'єкта при підготовці й використанні за призначенням, а також під час збереження і транспортування. Для рухомого складу встановлено три види технічного обслуговування: ЩО, ТО-1, ТО-2 які відрізняються обсягом робіт, тобто переліком операцій з огляду за складовими одиницями. Різні для цих видів обслуговування і час простою, і терміни їх виконання.

До вжитих заходів з усунення відмови (пошкодження) відносять виконання однієї з наступних робіт: відновлення (ремонт), заміна новим, регулювання, модернізація об'єкта. При визначенні характеру відмови і наслідків дуже важливим є об'єктивне і повне викладення усіх відомостей і даних. Терміни і визначення для кількісних характеристик розглядають, звичайно, в зв'язку з властивостями і видом об'єктів.

Ремонт визначається як комплекс робіт для підтримки і відновлення справності або працездатності об'єктів. Розрізняють плановий ремонт, коли певний комплекс робіт виконується з періодичністю, встановленою технічною документацією, і неплановий ремонт - комплекс робіт, призначений для відновлення працездатності об'єкта після відмови його складової частини що виникла в міжремонтний період. Види ремонтів рухомого складу визначені наказом центрального органу виконавчої влади. До них відносяться: поточні, середній і капітальний ремонти.

Поточні ремонти необхідні в процесі експлуатації для відновлення працездатності рухомого складу після відмови його складової частини і виконуються позапланово.

При середньому ремонті відновлюють експлуатаційні характеристики об'єкта і частково ресурс ремонтом або заміною тільки зношених чи пошкоджених складальних одиниць. При цьому обов'язково перевіряють технічний стан усіх складальних одиниць і виявлені відхилення від встановлених нормативів усувають. Норми допусків відхилень параметрів для складових одиниць при середньому ремонті більш жорсткі, ніж при поточному ремонті.

При капітальному ремонті відновлюється не тільки повна справність, але і ресурс рухомого складу. Складові частини підлягають відновленню, заміні й регулюванню.

Тема 4. Зміни станів рухомих одиниць

Життєвий цикл рухомої одиниці

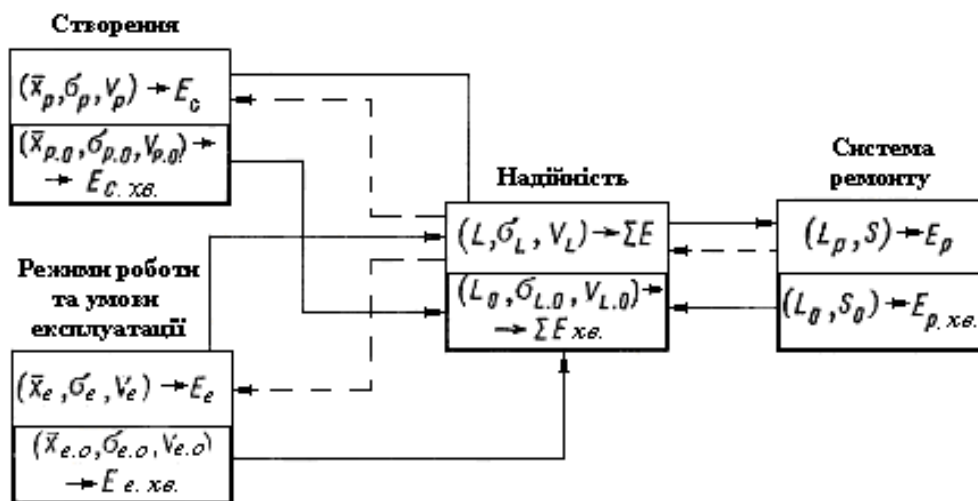
Під життєвим циклом рухомої одиниці слід розуміти період часу від моменту початку наукових досліджень, що мають своєю метою одержання необхідних даних для проектування, до моменту виключення з інвентарю. Структура циклу створення і використання рухомого складу містить у собі ряд періодів (стадій). Період створення поєднує стадії науково-дослідних розробок, проектування, виготовлення дослідних зразків, їхніх випробувань і доведення та організації серійного виробництва. Період використання складається з часу експлуатації (робота, ремонт, технічне обслуговування) і перебування в запасі у працездатному стані. На всіх стадіях цього циклу діють фактори, що приводять до розкиду технологічних, конструктивних і експлуатаційних показників і параметрів робочих властивостей, які характеризують рухомий склад (якість, потужність, економічність) і здатність зберігати їх, тобто надійність.

Цими факторами не тільки пояснюється розкид величин, що характеризують надійність в експлуатації, але й намітити шляхи визначення надійності на основі вивчення розподілень робочих властивостей на стадії створення рухомого складу і умов, в яких вони будуть працювати, тобто прогнозувати надійність створюваних типів рухомого складу.

Реалізований у конкретних умовах рівень надійності рухомого складу припускає наявність певної системи їх ремонтного обслуговування, що характеризується деякими її параметрами (види і циклічність ремонтів, міжремонтні пробіги, обсяг відновлювальних робіт на ремонтах, технічна оснащеність та ін.). Таким чином, між надійністю рухомого складу і системою ремонтного обслуговування існує як прямий, так і зворотний зв'язок (див. рис. 2. 4.1).

Зворотні зв'язки (штрихові лінії на рис. 2.4.1) існують між процесом створення рухомого складу і їх надійністю, а також між режимами роботи і надійністю рухомого складу.

Наявність зв'язків дає змогу оптимізувати процес створення зразків тягового рухомого складу так, щоб загальні витрати на їхнє створення, експлуатацію і ремонтне обслуговування були мінімальними. На стадії створення залежно від витрат забезпечуються ті чи інші робочі характеристики і відповідний рівень надійності. На стадії використання під впливом умов експлуатації і режимів роботи, що характеризуються навантаженнями, а також системи ремонту, що характеризується сукупністю її параметрів, реалізуються деякий рівень експлуатаційної надійності і витрат на експлуатацію та ремонт.



*Тонкими лініями показані існуючі параметри,
жирними лініями – оптимальні параметри*

Рис. 2.4.1 – Модель зв'язків надійності рухомого складу

Оптимальним слід вважати такий рівень надійності, що забезпечує мінімум сумарної функції народногосподарських витрат (метод сумарної функції). Тільки комплексний підхід до оптимізації процесів створення, використання обслуговування і ремонту рухомого складу як єдиного циклу дасть можливість вирішити проблему підвищення ефективності рухомого складу відповідно до сучасних вимог.

Зв'язок змін стану з якістю виготовлення

Основою для подолання труднощів створення надійних рухомих одиниць є детальне моделювання фізико-технічних процесів виготовлення, ефектів від ремонтів і виникнення несправностей їхніх складальних одиниць. Необхідне ретельне інженерне обґрунтування достовірного опису цих процесів, його ув'язування з електротехнічними, теплотехнічними розрахунками та розрахунками на міцність і коригування результатів з обліком шкідливих експлуатаційних впливів. Для однакового представлення всіх стадій виготовлення і експлуатації рухомого складу в основу розрахунку надійності їх складальних одиниць можуть бути покладені взаємодії випадкових процесів діючого або припустимого навантаження, тобто навантажень та властивостей, що характеризують міцність [11].

На стадії виготовлення закладаються робочі характеристики $X_{pi}(i=1, 2, \dots, n)$ складальних одиниць за рахунок відповідних технологічних прийомів і застосування необхідних матеріалів. Це забезпечує реалізацію призначеного ресурсу або терміну служби деталей при

розрахункових навантажень в експлуатації. Але практика показує, що незважаючи на удавану стабільність технології і застосування тих самих матеріалів для виготовлення однотипних об'єктів, замість конкретного детермінованого значення робочої властивості X_p , ми змушені мати справу з його розподілом з відповідною щільністю $f_{pi}(x)$. Виготовлення елементів з більш високими початковими властивостями, звичайно, вимагає збільшення витрат у процесі створення. Ці витрати є деякою функцією початкових характеристик робочих властивостей.

Розкид робочих властивостей визначається не тільки допусками на параметри елементів, але і відхиленнями від допусків, що виникають під час порушення технології виготовлення і низькій якості вихідного контролю.

Дослідження проф. І. П. Ісаєва показали, наприклад, що відхилення частоти обертання тягових двигунів в основному залежать від точності дотримання повітряного зазору під головними полюсами [12]. Експлуатація і дослідження тягових двигунів виявили значний вплив відхилень геометрії магнітної системи і колекторно-щіткового вузла на комутацію.

Зв'язок змін стану з показниками зовнішніх впливів

Надійність рухомого складу в експлуатації багато в чому визначається частотою і тривалістю використання тих чи інших режимів. Зокрема практика показує, що надійність ізоляції і колекторів тягових двигунів рухомого складу у тих самих кліматичних зонах залежить від показників, що характеризують режим їхнього навантаження. Так, часта зміна режимів тяги, вибігу, гальмування більш несприятливо відбивається на ізоляції, ніж тривала робота з постійним режимом тяги.

Умови експлуатації і режими роботи рухомого складу з часом випадково змінюються. Це призводить до того, що замість постійних розрахункових навантажень на кожну деталь впливає їхнє розподілу із щільністю імовірності $f(x)$.

Закладена на стадії виготовлення надійність реалізується у конкретних умовах експлуатації. При цьому на надійність рухомого складу впливають параметри як зовнішнього середовища, так і режимів роботи. Вплив навколишнього середовища на складальні одиниці рухомого складу - апаратуру, двигуни, елементи механічної частини та ін. призводить до порушення їхньої працездатності, зміни робочих параметрів і характеристик. Щоб забезпечити їхню безвідмовну роботу в різних умовах, необхідно знати, як саме впливають на них фактори зовнішнього середовища. У відношенні

окремих елементів (апарати, візки, двигуни) це завдання вирішується за допомогою випробувань, що імітують експлуатаційні впливи середовища. Однак в цілому рухомий склад будується в основному в одному виконанні для всіх експлуатаційних підприємств України без диференційованого обліку всіх різноманітних експлуатаційних факторів, що спостерігаються в різних містах України.

Залежність надійності рухомого складу від параметрів навколишнього середовища можна встановити, принаймні, двома шляхами [11,13]. Перший полягає у використанні залежностей зношування (старіння) об'єкта від параметра зовнішнього середовища і його розподілу. Для цього визначають середню швидкість $C_{хср}$ зміни робочого параметра X (зазор, міцність ізоляції, розмір деталі і т.п.) при наявності впливу зовнішнього середовища (температура, вологість, запиленість) з урахуванням прояву розкиду даного впливу. Задавши допуск δ_x на зміну робочого параметра, знайдемо середню тривалість роботи до його граничного значення

$$L_{ср} = \frac{\sigma_x}{C_{хср}}$$

Другий шлях полягає у встановленні кореляційних залежностей середньої тривалості роботи до відмови від числових характеристик розподілу параметрів навколишнього середовища (середнє значення, середнє квадратичне відхилення). Вихідними даними для кореляційного аналізу повинна бути статистична інформація, одержана шляхом проведення експерименту в різних кліматичних умовах.

Для встановлення цих залежностей треба зібрати й переробити величезний статистичний матеріал у різних кліматичних зонах, з огляду на те, що вплив зовнішніх умов виявляється не миттєво, а з певним зміщенням у часі. Для виявлення ступеня впливу різних діючих факторів зовнішніх впливів успішно може бути використаний багатофакторний аналіз. Оцінка впливу зовнішніх умов дослідним шляхом вимагає знання кількісної характеристики кліматичних умов, виявлення основних факторів зовнішнього середовища і характеру їхнього впливу на працездатність та надійність рухомого складу та його елементів. Вплив зовнішнього середовища на різні елементи рухомого складу може бути обумовлений як природними так і штучними факторами, що створюються у закритих системах трамвайного вагона чи тролейбуса. Штучні фактори формують мікроклімат тієї чи іншої деталі, вузла. Причому на параметри мікроклімату в значній мірі впливають природні фактори.

Особливо важливими параметрами зовнішнього середовища є:

- температура навколишнього повітря (розрізняють середню, мінімальну, максимальну, добову, місячну, квартальну, річну);
- швидкість і напрямок вітру;
- вологість (види і кількість опадів у різні періоди року);
- барометричний тиск;
- перепади температур за деякий період часу.

На рис. 2.4.2 показана схема впливу параметрів навколишнього середовища на працездатність рухомого складу. Подібним же чином навколишнє середовище впливає і на надійність електрообладнання рухомого складу. Для електрообладнання особливо помітний прояв впливу високих і низьких температур, температурних перепадів, вологості й запиленості на стан ізоляції тягових двигунів, апаратів і перетворювачів.

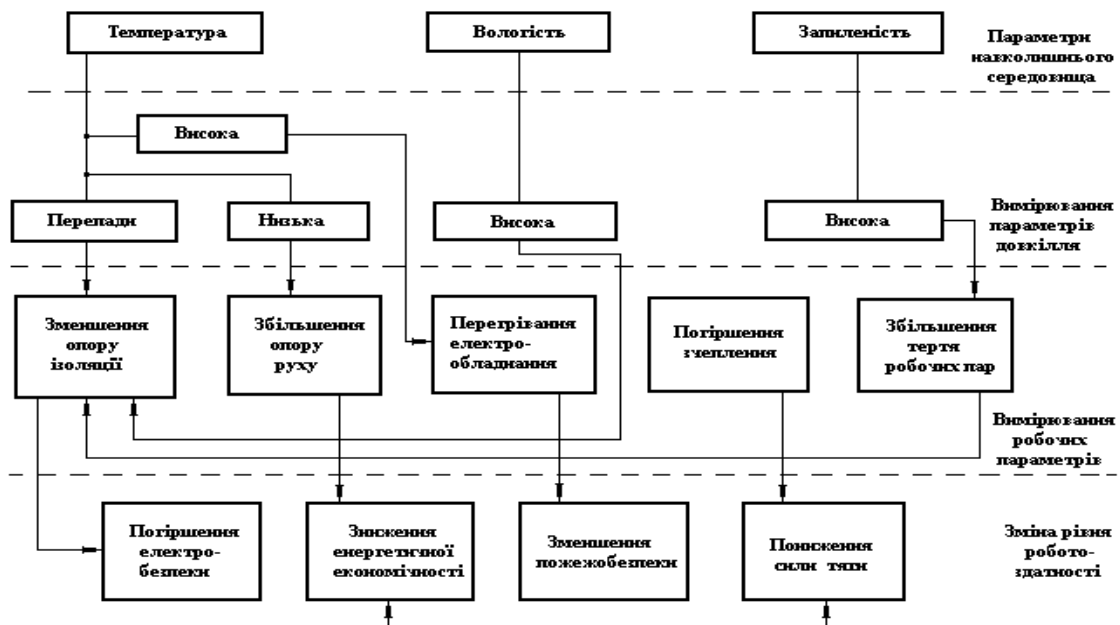


Рис. 2.4.2 – Схема впливу параметрів навколишнього середовища на працездатність виробу

Наявність розподілень робочих властивостей, показників умов експлуатації і режимів роботи приводить до неминучого розкиду тривалості роботи L складальних одиниць і рухомого складу у цілому до відмови. Це цілком природно, тому що тривалість роботи до відмови L є функцією робочих властивостей X_p і умов експлуатації.

Аналогічний вплив розподілень робочих властивостей і умов експлуатації має місце і на такі показники надійності рухомого складу в експлуатації, як середній час відновлення, середні й питомі витрати трудових і матеріальних ресурсів на ремонт.

Тема 5. Види відмов рухомого складу

Загальна фізична схема виникнення відмов

Відмова елемента викликається тим чи іншим фізичним процесом, що розвивається в часі або відбувається практично миттєво. Логічно припустити, що кожному виду такого процесу відповідає свій закон розподілу тривалості роботи до відмови. Виявлення і використання цього зв'язку на практиці часто ускладнено через одночасну дію декількох фізичних факторів чи процесів, неточних даних про їхній характер.

Перш ніж перейти до викладу математичних форм такого зв'язку, розглянемо основні види фізичних схем розвитку процесу виникнення несправностей (відмов). Відмова як подія - це перехід з працездатного стану в непрацездатний, може відбуватися внаслідок зміни параметрів об'єктів стрибкоподібно або поступово (раптові й поступові відмови) з різних причин.

Конструкційні відмови є в більшості випадків результатом неврахування «пікових» навантажень або будь-яких впливів із загального їхнього комплексу. Імовірність виникнення такого виду відмов однакова у всіх об'єктів одного типу (серії).

Порушення технології виготовлення виявляється звичайно у вигляді варіацій якості окремих об'єктів або окремих їхніх груп у загальній масі. Якщо відхилення в технології незначні, то це може і не позначитися помітно на показниках надійності й на законі розподілу напрацювання до відмови. Але різкі й істотні відхилення параметрів виробів внаслідок порушень технології призводять до відмов окремих об'єктів. У такий же спосіб виявляється і вплив умов експлуатації. Звичайно, це відноситься тільки до частини виробів, що експлуатуються із загальної сукупності.

Виведена узагальнена форма закону розподілу є основою для математичного опису імовірнісних характеристик ідеалізованих схем розвитку фізичних процесів виникнення відмов, тобто моделей відмов. В усіх цих схемах не враховується розкид початкових робочих властивостей і рівнів навантаження, які призводять до виробничих і експлуатаційних відмов, що і визначає ідеальність моделей. Незважаючи на це, слід розглянути такі моделі, оскільки при вказаних припущеннях вони досить добре можуть бути застосовані для характеристик процесів розвитку пошкоджень багатьох об'єктів.

Миттєві пошкодження

Цей вид характеризується такими вихідними положеннями й умовами: всі однотипні об'єкти в експлуатації здатні витримати деяке гранично припустиме навантаження S_n . Ця здатність об'єктів вважається незмінною протягом усього часу експлуатації, тобто $S_n = \text{const}$. Інакше кажучи, попереднє використання кожного об'єкта не впливає на властивості об'єкта в його наступній експлуатації. Діюче на об'єкт навантаження безперервно, відносно плавно і випадково змінюється, як це зображено на рис. 2.5.1. Нехай ця зміна характеризується властивостями асимптотичної незалежності й стаціонарності.

Властивістю асимптотичної незалежності навантаження $S(t)$ володіє об'єкт у тому випадку, якщо $S(t_2)$ не залежить від $S(t_1)$ при досить великій тривалості часу між моментами t_2 і t_1 , тобто при великій різниці $(t_2 - t_1)$, але $S(t_2)$ явно зв'язана з $S(t_1)$ при малих різницях $(t_2 - t_1)$. Це означає, що моменти «пікових» навантажень не можуть бути передбачені заздалегідь.

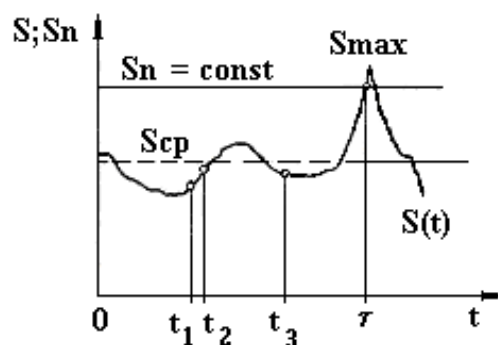


Рис. 2.5.1 – Модель виникнення відмов у схемі миттєвого пошкодження

Відсутність спрямованості зміни навантаження $S(t)$ в міру наростання часу роботи є властивістю стаціонарності. Середній рівень навантаження S_{cp} не змінюється з часом і залишається постійним для всіх об'єктів, що знаходяться в експлуатації. У цих умовах навантаження можливий випадок, коли навантаження в одному з «піків» перевищують припустимий рівень S_n і при $S(t=\tau) > S_n$ наступить відмова об'єкта. Очевидно, що час до першого перетинання τ буде величиною випадковою, і тому τ - це час безвідмовної роботи об'єкта.

Так, об'єкти можуть відповідати цій моделі не протягом усього терміну служби, а протягом періоду часу після закінчення припрацювання t_1 до моменту початку процесу старіння t_2 . Якщо такі об'єкти встановлюють для

експлуатації в деякій системі після припрацювання і використовують протягом часу $(t_2 - t_1)$, тобто замінюють їх після напрацювання t_2 то час безвідмовної роботи таких об'єктів при експлуатації системи буде іншим. Наприклад, у електромагнітних контакторів постійного струму модель миттєвих пошкоджень у вигляді пошкоджень електричною дугою має місце після припрацювання до пробігу 400—500 тис. км. Це вказує на появу екстремальних умов дугогасіння, за яких можлива відмова апарата.

У практиці експлуатації поширена ситуація, коли властивості об'єктів змінюються, тобто рівень припустимого навантаження S_n знижується в міру зростання t . Нехай первісні властивості навантаження такі, що в інтервалі $(0 - t_0)$ навантаження $S_n = S_{n0} > S(t)_{max}$, тобто імовірність відмови в цьому інтервалі досить мала. Після моменту t_0 за малий інтервал $(t_0 - t_1)$ властивості навантаження погіршуються до рівня $S_n = S_{n1}$, при якому стає відчутна імовірність пошкодження об'єктів піками $S(t)_{max}$. Прикладом такого процесу може бути раптове прискорення погіршення властивостей ізоляції апаратів, викликане зволоженням.

Підводячи підсумок розглянутої моделі миттєвого пошкодження, слід зазначити, що така схема формування потоку відмов в ідеальному випадку заперечує необхідність виконання профілактичних заміन елементів та їх періодичного ремонту. Оскільки причиною відмови є зовнішній випадковий вплив, а властивості елементів незмінні, то заміна старого елемента на новий не змінює моменту настання відмови під час піку навантаження. Підвищення надійності в цьому разі можна досягнути поліпшенням конструкції, тобто збільшенням рівня властивостей виробу S_n або зниженням рівня піків зовнішніх впливів $S(t)_{max}$.

Пошкодження, що накопичуються

У вихідних положеннях цієї моделі основне місце займає зношування, оскільки всі елементи реально існуючих систем зазнають протягом періоду експлуатації необоротних змін. Розрізняють багато видів зношування від зовнішнього тертя залежно від видів мікропроцесів: механічне, корозійно-механічне, зношування від втоми, ерозійне, абразивне, кавітаційне та ін. У загальному випадку під зношенням розуміють результат зношування, тобто залишкові зміни фізичного стану об'єктів не тільки від тертя, але і з інших причин (наприклад, старіння ізоляції). Стан об'єктів може бути оцінений за

конфігурацією, ступінню чистоти поверхні та інших показників, а також за хімічним складом, фізичним властивостям, напругою та іншими параметрам.

Важливою характеристикою є реалізація зношування, тобто вид залежності показника X_p , що характеризує робочі властивості виробу, від часу або напрацювання. Ця деяка випадкова функція $X_p(t)$, у загальному випадку має нелінійний характер. У найпростішому випадку реалізація зношування має лінійний вигляд:

$$X_p(t) = a \cdot t + b,$$

і графічно подана на рис. 2.5.2.

Якщо $b = x_p(t=0)$ – початковий стан об'єкта, $a = dx_p(t)/dt$ – швидкість зміни $X_p(t)$, яка випадково змінюється від об'єкта до об'єкта, то τ_i — час безвідмовної роботи i -го об'єкта є величина випадкова і обумовлена моментом досягнення граничного стану $x_p(\tau) = M\tau$, тобто $\tau_i = (M\tau - b)/di$.

У реальних умовах спостерігаються більш складні залежності $X_p(t)$, в яких:

- початкові властивості можуть бути різними, $b_1 \neq b_2$;
- середня швидкість зношування не однакова для різних об'єктів $a_{1cp} \neq a_{2cp}$. (можливий і випадок, коли $a_{icp} \neq \text{const}$);
- швидкість зношування в одного об'єкта випадково змінюється у процесі роботи, тобто $a = a(t)$.

Спільним для всіх цих випадків є те, що на відміну від миттєвих пошкоджень інтенсивність відмов від зношування не залишається постійною в часі, хоч в середньому є незмінною. Певна група елементів характеризується моделлю, що відповідає схемі зношення об'єктів при наступних особливостях:

- середня швидкість зношування об'єктів постійна;
- початкова якість об'єктів досить однорідна;
- швидкість наростання зношення піддається випадковим варіаціям.

Схема придатна для випадку, коли процеси припрацювання об'єктів забирають незначний час. У процесі роботи об'єкта відбуваються одиничні пошкодження Δh , кожний з яких не призводить до відмови, а нагромадження деякої їхньої величини викликає в кінцевому результаті відмову.

Наприклад, деякий цикл роботи пари щітка - колектор призводить до зношування щітки на величину Δh . Відмова - граничне зношування і заміна щітки настане, коли зношування досягне і перевищить припустиму величину $[h]$ після r циклів роботи, тобто при $r\Delta h \geq [h]$. Досягнення цього граничного

розміру залежить від кількості циклів і випадкового розміру навантаження в циклі, при якому накопичується зношування Δh . Менше навантаження збільшує тривалість одного такого циклу, більше - скорочує.

Буває так, що до часу $t=0$ «гинуть» екземпляри з високою швидкістю зношування, а зношування тих, що залишилися в роботі, наростає повільніше. У цілому така поведінка всієї системи виражає її здатність «пристосовуватися» до умов навантаження, тобто система має властивість тренування або припрацювання. Відомо, що накатка шийок валів і осей, поверхні колекторів збільшує їхню здатність протистояти зношуванню, тобто відбувається їхнє зміцнення. Процес зміцнення є теж своєрідним тренуванням матеріалу, коли за рахунок первісних деформацій зменшується зношування у наступній експлуатації. Подібні процеси можуть відбуватися і з об'єктами, тобто зменшення швидкості наростання зношування об'єктів системи можливе не обов'язково за рахунок «загибелі» слабких, а саме за рахунок поліпшення властивостей у процесі припрацювання.

При експлуатації колекторних тягових двигунів спостерігається таке явище, як «затягування» міжламельних проміжків міддю. Дослідження показали, що затягування особливо інтенсивне в початковий період експлуатації колектора або після обточування.

Розглянуті моделі не охоплюють усіх різновидів можливих схем розвитку процесів відмов. Можна вказати на такі важливі види, як релаксаційні моделі, накладання різних моделей. При цьому кожна модель може бути описана своїм законом розподілу часу безвідмовної роботи (напрацювання до відмови). Знання таких законів необхідне для вирішення багатьох практичних задач надійності рухомого складу.

Запитання до самоперевірки

1. Що є кінцевим результатом роботи підприємств електротранспорту?
2. Поняття «Технічна система і її елементи».
3. Поняття «Технічне обслуговування» і «Ремонт».
4. Поняття «Відмова рухомого складу та його елементів».
5. Види технічного стану об'єктів електротранспорту.
6. Пояснити фізичну природу зв'язків одних властивостей, що характеризують надійність рухомого складу, з іншими: довговічності з ремонтпридатністю, безвідмовності зі збереженістю, ремонтпридатності з безвідмовністю.
7. Забезпечення яких властивостей, що характеризують рухомий склад, має забезпечуватися при технічній експлуатації?

8. Розкрити сутність забезпечення надійності на стадії проектування та на стадії виготовлення.
9. Навести приклади взаємного впливу одних систем на інші
10. Вплив навколишнього середовища на працездатність технічних засобів міського електротранспорту.
11. Навести приклади миттєвих пошкоджень.
12. Навести приклади поступових відмов.

Модуль 3. РЕСУРСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Тема 6. Енергетичні й матеріальні ресурси

Призначення і види ресурсів

Забезпечення виконання головної функції рухомого складу міського електротранспорту - перевезення пасажирів - неможливе без наявності ресурсів різного призначення. Так, без наявності електроенергії зовсім неможливий рух рухомого складу, а також робота технологічного обладнання, яке використовується під час технічного обслуговування та ремонту рухомого складу. Виконання операцій з відновлення працездатності рухомого складу та його обслуговування виконується технічним персоналом, за відсутності якого неможлива надійна робота рухомого складу. Відсутність запасних частин, мастил і матеріалів унеможлиблює відновлення працездатності рухомого складу. Окремо можна відзначити необхідність утримання резервного рухомого складу, за допомогою якого відновлюється графік руху рухомого складу на маршруті, за умов втрати працездатності однієї або декількох рухомих одиниць під час їх роботи на маршруті.

Таким чином, можна чітко виділити декілька головних видів ресурсів, які забезпечують технічну експлуатацію рухомого складу. Основні види ресурсів та їх призначення наведені в табл. 3.6.1

Таблиця 3.6.1 – Види ресурсів

№ п/п	Найменування ресурсу	Призначення ресурсу
1	Електрична енергія	1. Живлення рухомого складу під час його роботи на маршруті
		2. Живлення технологічного обладнання, яке використовується під час ремонту та обслуговування рухомого складу
		3. Живлення технічних засобів, що забезпечують комфортні умови праці робітників, які виконують технічне обслуговування та ремонт (наприклад, освітлення)

№ п/п	Найменування ресурсу	Призначення ресурсу
2	Резерв рухомого складу	Відновлення графіка руху
3	Трудові	Виконання обслуговування і ремонту рухомого складу, управління виробництвом, керування рухомим складом
4	Мастило	Подовження строку служби складових частин рухомого складу
5	Запасні частини	Відновлення працездатності рухомого складу

Наявність оптимального обсягу ресурсів, які наведені в табл. 3.6.1, забезпечує найбільшу ефективність технічної експлуатації рухомого складу і мінімізує витрати підприємств міського електротранспорту.

Електроенергетичні ресурси

Кількість електроенергії, яка використовується в процесі експлуатації рухомого складу, може бути поділена на дві складові: ту, що витрачається на перевезення пасажирів і ту, що витрачається на забезпечення підтримання рухомого складу в справному стані і виконання інших технологічних операцій організації технічної експлуатації рухомого складу.

Перша і друга складові залежать від обсягу транспортної роботи. Якщо відомі значення витрат електроенергії на пасажирські перевезення W_p , то витрати електроенергії на технологічні потреби забезпечення експлуатації рухомого складу можна розрахувати як відсоток від витрат W_p . Тобто загальні витрати електроенергії можна розрахувати за формулою:

$$W = W_p + k \cdot W_p = W_p(1 + k),$$

де k -відсоток витрат електроенергії від її обсягу на пасажироперевезення.

Існує декілька підходів до розрахунку витрат електроенергії на пасажирські перевезення. Усі методи базуються на використанні питомих витрат електроенергії на одиницю транспортної роботи або на одиницю наданих транспортних послуг з урахуванням особливостей конкретних типів рухомого складу та умов руху. За наочністю базового показника питомих витрат електроенергії для кожного міста України необхідно встановити коригувальні коефіцієнти, які б враховували місцеві умови руху. Визначення коригувальних коефіцієнтів потребує значного часу і обсягів об'єктивного статистичного матеріалу щодо умов руху. Інший підхід, який дозволяє з придатною точністю встановити залежність витрат електроенергії від транспортної роботи, є статистична інформація за декілька років роботи

транспортного підприємства. А саме: пробіг тролейбусів (X_1), пробіг трамвайних вагонів (X_2), кількість перевезених пасажирів тролейбусами (X_3), кількість пасажирів, перевезених трамвайними вагонами (X_4). Незалежно від вигляду рівняння, яке буде прийнято за математичну модель, яка пов'язує витрати електроенергії з показниками що впливають на її витрати (X_1, X_2, X_3, X_4), можна вимагати, щоб вона давала мінімальну похибку між фактичними і розрахунковим витратами електроенергії. Ця вимога завжди виконується при застосуванні методу найменших квадратів, який дозволяє визначити коефіцієнти математичної моделі таким чином, щоб сума квадратів відхилень розрахункових витрат електроенергії від фактичних була мінімальною, тобто

$$Z = \sum_m (Y_p - Y_\phi)^2 \rightarrow \min,$$

де Y_p - витрати електроенергії, розраховані за математичною моделлю;

Y_ϕ – фактичні витрати електроенергії;

M – кількість даних.

Мінімальне значення Z можна отримати, розв'язавши систему рівнянь, яка в загальному випадку має вигляд

$$\sum_{j=1}^n \frac{dZ}{da_j} = 0,$$

де $\frac{dZ}{da}$ – часткова похідна за коефіцієнтом рівняння;

n – кількість факторів, що входять до рівняння;

a_j – коефіцієнти рівняння.

Найбільш поширеним є визначення витрат електроенергії на одиницю пробігу та на одного перевезеного пасажирів, так що витрати енергії на експлуатацію встановлюється згідно з рівнянням:

$$A_p = a_0 + \sum_{j=1}^{j=n} a_j X_j,$$

де a_0 – сталий коефіцієнт, що враховує вплив місцевих умов руху на витрати електроенергії;

a_j – коефіцієнти впливу факторів на витрати електроенергії відповідно до тих чи інших вимірювачів цих факторів;

n – загальна кількість факторів, що впливають на витрати електроенергії.

За допомогою таких моделей можливо відслідковувати тенденції змін енергоспоживання та оцінювати вплив на витрати енергії впроваджених організаційно-технічних заходів.

Забезпечення запчастинами та іншими виробами

У зальному вигляді кількість запасних частин, яка буде витрачена на технічну експлуатацію, визначається обсягами замін під час проведення робіт із забезпечення справності. Очевидно, що на підприємстві повинен бути певний запас запчастин та інших виробів, що складає так званий оборотний фонд. Оборотний фонд створюється за рахунок постачань нових і відновлених агрегатів, вузлів, деталей та інших виробів.

З практики відомо, що іноді на складах депо відсутні запасні частини та інші вироби одних найменувань і в той же час є надлишки деталей інших найменувань. У разі відсутності необхідних запасних частин при настанні несправності рухомого стану має місце примусовий простій, що приводить до збитків. Якщо ж є зайві запасні частини, то це також пов'язано із збитками внаслідок «замороження» фінансових коштів і витрат на збереження.

Практичне заняття 1 (до теми 6)

Обробка звітних даних по витратах електроенергії.

Мета заняття: отримання уявлень щодо методики визначення показників енерговитратності експлуатації.

Розглянемо методику визначення витрат електроенергії на перевезення пасажирів окремо тролейбусом та трамваєм. Рівняння витрат енергії матиме вигляд:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 + a_4 \cdot X_4,$$

де a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 – значення коефіцієнтів впливу факторів ($a_1, a_3=0$ – для підприємств, що експлуатують тільки тролейбуси; $a_2, a_4=0$ – для підприємств, що експлуатують тільки трамвайні вагони);

X_1 – значення пробігу трамвайних вагонів за рік, тис.км;

X_2 – значення пробігу тролейбусів за рік, тис.км;

X_3 – кількість пасажирів, перевезена за рік трамвайними вагонами, тис.пас.;

X_4 – кількість пасажирів, перевезена за рік тролейбусами, тис. пас.;

Y - витрати електроенергії на пасажирські перевезення, тис. кВт·год.

З цього рівняння можна знайти не тільки окремі частки витрат енергії на транспортну роботу по видах транспорту, не тільки на перевезення відповідних

обсягів пасажирів, а й питомі - на одиницю пробігу та на одного пасажирів - значення, що необхідно для відслідковування динаміки змін енерговитратності.

Зазначені показники слугують також для оцінки ефективності запроваджених на підприємстві тих чи інших заходів, таких, як підвищення якості ремонту, модернізація рухомого складу, удосконалення маршрутної системи і нарядів на випуск тощо. Очевидно, що питомі енергоспоживання при запровадженні тих чи інших ефективних заходів мають зменшуватися, навіть якщо абсолютні значення пробігів та перевезень зростають.

Коефіцієнти рівняння можна знайти, використавши програму Microsoft Excel і функцію „ЛИНЕЙ()”. Для визначення коефіцієнтів рівняння необхідно ввести вихідні дані до програми Microsoft Excel у вигляді таблиці і застосувати функцію „ЛИНЕЙ()”, інструкція з використання якої наведена безпосередньо у програмі. Окремо підкреслимо, що незважаючи на те, що в даних витрати електроенергії надані окремо, в таблиці програми Microsoft Excel вони сумуються. Застосування для розрахунків окремо витрат електроенергії для трамвая і тролейбуса доцільне тільки у випадку, коли тягові підстанції окремо живлять трамвайні й тролейбусні маршрути.

Для визначення коефіцієнтів вищезазначеної моделі використаємо статистичні дані про витрати електроенергії та обсяги транспортної роботи за декілька років.

Таблиця 3.6.2 – Статистичні дані про витрати електроенергії, обсяги транспортної роботи та пасажироперевезення по трамваю і тролейбусу за даними державної звітності

Роки	Трамвай				Тролейбус			
	Кількість трамвайних вагонів	Пробіг вагонів, тис.км	Перевезено пасажирів, тис.пас	Витрати електро - енергії на перевезених пасажирів, тис.кВт·год	Кількість трамвайних вагонів	Пробіг вагонів, тис.км	Перевезено пасажирів, тис.пас	Витрати електро - енергії на перевезених пасажирів, тис.кВт·год
1975	105	7413	55572	6816	104	5940	34790	14511
1976	104	6751	54776	7018	106	6941	41747	17834
1977	102	6514	47575	7432	115	7078	45606	18820
1978	97	6398	46070	8724	119	7084	45598	19256
1979	99	6302	42898	9157	135	7360	46564	19319
1980	90	6106	40869	9354	132	7205	46134	17869
1981	90	5501	39393	10371	131	7568	46521	17933
1982	90	5020	39812	9629	131	8481	48687	18876
1983	87	4876	39378	10533	138	9267	55194	21761
1984	93	4740	41539	11331	140	9541	57156	22807
1985	85	4920	46111	11780	142	9757	57216	23546
1986	95	5233	49485	13430	146	10067	60181	24101
1987	100	5805	59646	15163	145	9986	69702	24269

Роки	Трамвай				Тролейбус			
	Кількість трамвайних вагонів	Пробіг вагонів, тис.км	Перевезено пасажирів, тис.пас	Витрати електро - енергії на перевезених пасажирів, тис.кВт·год	Кількість трамвайних вагонів	Пробіг вагонів, тис.км	Перевезено пасажирів, тис.пас	Витрати електро - енергії на перевезених пасажирів, тис.кВт·год
1988	112	6006	69138	16340	150	10129	77661	24802
1989	112	6036	70383	18283	153	10213	79942	24845
1990	119	6062	70530	17889	166	10409	81534	24979
1995	115	4202	91682	13361	175	7805	93319	17712
1996	114	3892	92118	13502	169	7185	92802	18209
1998	105	3397	57112	10825	153	7031	79393	17602
1999	105	3065	44385	9543	153	6740	62341	15615

Ці дані викладаємо у таблицю програми Microsoft Excel

Таблиця 3.6.3 – Форма таблиці програми Microsoft Excel з введеними даними (колонки А-Е)

	А	В	С	Д	Е	Ф
1	Х1 - пробіг трамвая	Х2 - пробіг тролейбуса	Х3 - кількість пасажирів, перевезених трамваем	Х4 - кількість пасажирів, перевезених тролейбусом	У - загальні витрати електроенергії	Похибка обчислень, %
2	7413	5940	55572	34790	21327	-0,83
3	6751	6941	54776	41747	24852	-0,93
4	6514	7078	47575	45606	26252	-2,79
5	6398	7084	46070	45598	27980	3,71
6	6302	7360	42898	46564	28476	1,01
7	6106	7205	40869	46134	27223	-0,89
8	5501	7568	39393	46521	28304	2,77
9	5020	8481	39812	48687	28505	-4,10
10	4876	9267	39378	55194	32294	-3,89
11	4740	9541	41539	57156	34138	-0,62
12	4920	9757	46111	57216	35326	1,51
13	5233	10067	49485	60181	37531	2,01
14	5805	9986	59646	69702	39432	0,33
15	6006	10129	69138	77661	41142	-0,39
16	6036	10213	70383	79942	43128	2,33
17	6062	10409	70530	81534	42868	-0,72
18	4202	7805	91682	93319	31073	-5,76
19	3892	7185	92118	92802	31711	4,55
20	3397	7031	57112	79393	28427	-2,46
21	3065	6740	44385	62341	25158	3,98

Функція „ЛИНЕЙ()” програми Microsoft Excel як результат обчислення надає рядок коефіцієнтів рівняння:

a_4	A_3	a_2	a_1	a_0
0,29389	-0,12187	2,813642	2,083154	-14104,4

Таким чином рівняння для сукупності статистичних даних має вигляд

$$Y = -14104,4 + 2,083154X_1 + 2,813642X_2 - 0,12187X_3 + 0,29389X_4.$$

Похибка визначення витрат електроенергії наведена в колонці F таблиці Microsoft Excel. Похибка розрахована за формулою:

$$\% = 100(Y - Y_p)Y.$$

Як видно з таблиці, максимальне значення похибки не перевищує 5,76%.

Тема 7. Витратні матеріали

Мастила та технологічні рідини

Технічна експлуатація вимагає витрат різних мастильних матеріалів і рідин, що запобігають замерзанню пневматичної системи в зимовий період часу. Періодичність поповнення мастил на рухомому складі визначається за картами змащення, що надаються в експлуатаційній документації на кожний тип рухомого складу, приклад якої для тролейбуса ЛАЗ – 52522 наведений в табл. 3.7.1.

Загальний обсяг мастила j -го типу, яке буде використано підприємством за рік, можна визначити за формулою

$$V_j = \sum_{i=1}^n \frac{L_g N v_{ji}}{L_{pi}},$$

де L_g – пробіг за рік одного тролейбуса або трамвайного вагону, км;

N – кількість тролейбусів або трамвайних вагонів у депо, шт.;

v_{ji} – обсяг мастила j -го типу, яке замінюється в i -й точці змащення, л;

L_{pi} – періодичність заміни мастила j -того типу в i -й точці змащення, км.

Таблиця 3.7.1 – Карта змащення тролейбуса ЛАЗ – 52522

Назва складальної одиниці (функціонально-закінчений пристрій, механізм, вузол тертя)	Кількість складальних одиниць у виробі, шт	Назва і позначення марок паливно-мастильних матеріалів (ПММ)		Маса (об'єм) ПММ, заправлених в тролейбус при заміні	Періодичність заміни ПММ	Примітка
		Основна марка і сезонність застосування	Дублююча марка і сезонність застосування			
Головна передача заднього моста	1	Всесезонно мастило трансмісійне ТМ-3-18 (Тап-15В) ГОСТ 23652-79	Всесезонно мастило трансмісійне ТМ-3-18 (Тап-15К) ГОСТ 23652-79	8,0 л	ТО-2 Під час першого ТО-1 СТО	Перевірити і за потребою долити Замінити мастило
Колісні редуктори заднього моста	2	Те ж	Те ж	5,0 л	Те ж	Те ж
Картер кутового редуктора рульового управління	1	Те ж	Те ж	0,3 л	ТО-2	Перевірити рівень, при потребі долити. Замінити мастило при ремонті
Система гідропідсилювача руля	1	Всесезонно мастило для систем гідропідсилювача руля і гідрооб'ємних передач марки "р" (МГ-22-В) ТУ 38.101.1282-89. Для півночі – мастило АМГ-10 ГОСТ 6794-75	Всесезонно мастило АУ (МГ-22-А) ТУ 38.101.1282-89 або АУП (МГ-22-Б) ТУ 38.101.1258-89	8,0 л	ТО-1 ТО-2 СТО	Перевірити рівень, при потребі долити в бачок гідропідсилювача Промити фільтр Замінити мастило
Підшипники маточини передньої осі	2	Всесезонно мастило Літол-24 (Мли 4/12-3) ГОСТ 21150-87	Всесезонно мастило Солідол-Ж ГОСТ 1033-79 або Солідол-С ГОСТ 4366-76	0,4 кг	ТО-1 ТО-2	Перевірити, при потребі додати Замінити мастило
Шкворні поворотних кулаків передньої осі		Те ж	Те ж	0,1 кг	ТО-1	Змастити шприцом через прес-маслянку до видавлення свіжого мастила

<i>Назва складальної одиниці (функціонально-закінчений пристрій, механізм, вузол тертя)</i>	<i>Кількість складальних одиниць у виробі, шт</i>	<i>Назва і позначення марок паливно-мастильних матеріалів (ПММ)</i>		<i>Маса (об'єм) ПММ, заправлених в тролейбус при заміні</i>	<i>Періодичність заміни ПММ</i>	<i>Примітка</i>
		<i>Основна марка і сезонність застосування</i>	<i>Дублююча марка і сезонність застосування</i>			
Шарніри рульових тяг і гідропідсилювача	5	Всесезонно мастило Літол-24 (Мли 4/12-3) ГОСТ 21180-87	Все сезонно мастило Солідол-Ж ГОСТ 1033-79 або Солідол С ГОСТ 4366-76	0,07 кг	ТО-1	Змастити шарніри через прес-маслянку до видавлення свіжого мастила
Шліци карданного вала	1	Те ж	Те ж	0,1кг	ТО-2 ТО-1 (дубл.)	Змастити шарніри через прес-маслянку до видавлення свіжого мастила При відсутності маслянки розібрати шліцьове з'єднання, зняти старе мастило і змастити новим
Шліци карданного вала рульового управління	1	Те ж	Те ж	0,01 кг	ТО-2	Змастити через прес-маслянку до видавлення свіжого мастила
Шарніри карданного вала	2	Те ж	Те ж	0,01 кг		Замінити мастило при ремонті
Шарніри карданного вала рульового управління	2	Те ж	Те ж	0,05 кг		Замінити мастило при ремонті
Черв'ячні пари регулюючих важелів розтискних кулаків	4	Те ж	Те ж	за потребою	Під час першого ТО-1, ТО-2 ТО-2 (дубл.)	Для задніх коліс змастити через прес-маслянку до видавлювання свіжого мастила, для передніх коліс відкрутити пробку, додати мастила в черв'ячні пари
Регулятор положення кузова	3	Всесезонно мастило Літол-24 (Мли 4/12-3) ГОСТ 21150-87	Всесезонно мастило Солідол-Ж (Ска 2/6-2) ГОСТ 1033-78	0,045 кг		Змастити при ремонті

<i>Назва складальної одиниці (функціонально-закінчений пристрій, механізм, вузол тертя)</i>	<i>Кількість складальних одиниць у виробі, шт</i>	<i>Назва і позначення марок паливно-мастильних матеріалів (ПММ)</i>		<i>Маса (об'єм) ПММ, заправлених в тролейбус при заміні</i>	<i>Періодичність заміни ПММ</i>	<i>Примітка</i>
		<i>Основна марка і сезонність застосування</i>	<i>Дублююча марка і сезонність застосування</i>			
Дверні шарніри, механізми	30	Те ж	Те ж	за потребою	ТО-2	Змастити через прес-маслянку. Поверхні тертя змастити тонким шаром
Шарнірні з'єднання тягового привода гальма	18	Всесезонно масло трансмісійне ТМ-3-18 (ТАП-15В) ГОСТ 23652-79	Всесезонно масло трансмісійне ТМ-3-18 (ТСп-15К) ГОСТ 23652-78	за потребою	СТО	Змастити з допомогою маслянки
Вимикач акумуляторних батарей	1	Всесезонно мастило -158 ТУ 38.101.320-77	Всесезонно мастило Літол-24 (Мли 4/12-3) ГОСТ 21150-87	0,03 кг	Те ж	Розібрати й почистити вимикач, змастити свіжим мастилом
Втулки валів розтискних кулаків, гальмівних механізмів	6	Всесезонно мастило Літол-24 (Мли 4/12-3) ГОСТ 21150-87	Всесезонно мастило Солідол-Ж (Ска 2/6-2) ГОСТ 1033-79	0,1 2 кг	ТО-2	Змастити через прес-маслянку і при розібраних гальмівних механізмах (заміна гальмівних накладок, ремонт і тд.)
Опорні пальці гальмівних колодок	8	Всесезонно мастило -158 ТУ 38.101,320-77	Всесезонно мастило Літол-24 (Мли 4/12-3) ГОСТ 21150-87	0,05 кг		Те ж
Клеми акумуляторних батарей	4	Всесезонно мастило Літол-24 (Мли 4/12-3) ГОСТ 21150-87	Всесезонно мастило Солідол-С ГОСТ 356-76	0,04 кг	ТО-2	Змастити клеми тонким шаром
Підшипники генератора	2	Всесезонно мастило 188 ТУ 38.101.320-77	Всесезонно мастило Літол-24 ГОСТ 21150-87	0,01 кг		Замінити мастило при ремонті
Амортизатор сидіння	1	Всесезонно рідина амортизаторна ЛЖК-12Т ГОСТ 23008-78	Всесезонно рідина амортизаторна МГП-10 ОСТ 38-1-54-74	0,12л		Рідину міняти при ремонті амортизатора

<i>Назва складальної одиниці (функціонально-закінчений пристрій, механізм, вузол тертя)</i>	<i>Кількість складальних одиниць у виробі, шт</i>	<i>Назва і позначення марок паливно-мастильних матеріалів (ПММ)</i>		<i>Маса (об'єм) ПММ, заправлених в тролейбус при заміні</i>	<i>Періодичність заміни ПММ</i>	<i>Примітка</i>
		<i>Основна марка і сезонність застосування</i>	<i>Дублююча марка і сезонність застосування</i>			
Амортизатор підвіски	6	Те ж	Те ж	4,5 л		Те ж
Ресори підвіски	4	Всесезонно мастило графітне УСсД	Всесезонно мастило Солідол-Ж ГОСТ 1033-79	2 кг		Змастити поверхні ресорних листів при ремонті
Запобіжник проти замерзання	1	Всесезонно спирт етиловий технічний ГОСТ 17299-78		0,2л		Використовувати при температурі повітря нижче 0°C, міняти один раз в тиждень
Картер компресора	1	Літом - масло компресорне К12 ГОСТ 1861-73 Зимою.- масло компресорне К12В ТУ8810-1539-75	Літом - масла моторні М10В ₂₃ або М10Г ₂ ГОСТ 8581-78 Зимою - масло моторне М12Г ГОСТ10541-78 або масло компресорне КЗ-10 ТУ 1011207-89 К2-24	1,0л	Перша заміна після 50 год. роботи, наступна не більше ніж через 300 год.	Заливати до верхньої мітки масло-вказівника
Підшипники тягового електродвигуна	2	Всесезонно мастило ЖРО ТУ 32ЦТ 520-83	Всесезонно мастило Літол-24 (Мли 4/12-3) ГОСТ 21150-87	0,02кг	ТО-1 ТО-2	Змастити шприцом мастильні канали, попередньо викрутити болти для ви-давлення старого мастила. Тільки під час 1-го ТО-1 і в подальшому під час ТО-2
Підшипник двигуна агрегату власних потреб	2	Те ж		0,02 кг 0,2 кг	ТО-1 ТО-2 СТО	Перевірити і додати мастило (тільки під час першого ТО-1) Замінити мастило
Підшипник електродвигуна компресора	2	Те ж	Теж	Теж	Те ж	Те ж

<i>Назва складальної одиниці (функціонально-закінчений пристрій, механізм, вузол тертя)</i>	<i>Кількість складальних одиниць у виробі, шт</i>	<i>Назва і позначення марок паливно-мастильних матеріалів (ПММ)</i>		<i>Маса (об'єм) ПММ, заправлених в тролейбус при заміні</i>	<i>Періодичність заміни ПММ</i>	<i>Примітка</i>
		<i>Основна марка і сезонність застосування</i>	<i>Дублююча марка і сезонність застосування</i>			
Підшипник контролера управління і групового контролера		Всесезонно мастило 158 ТУ 38.101.320-77	Всесезонно мастило Літол-24 (Мли 4/12-3) ГОСТ 21150-87	за потребою	СТО	Замінити мастило
Зубчастий сектор і шарнірні з'єднання привода контролера управління і групового контролера		Те ж	Те ж	за потребою	СТО	Те ж
Підшипники основи струмо-приймача	3	Те ж	Те ж	за потребою	СТО	Те ж
Шарнір головки струмо-приймача	1	Те ж	Те ж	за потребою	ТО-1	Змастити тонким шаром мастила.

Наприклад, періодичність заміни мастила в центральному і двох бортових редукторах дорівнює *16000 км*. У цих точках змащення використовується однаковий тип мастила. Середньорічний пробіг одного тролейбуса дорівнює *50000 км*, інвентарна кількість тролейбусів у депо – *100 одиниць*. Обсяг мастила, який заливається до центрального редуктора *5 л*, до бортового редуктора *3 л*.

Оскільки ми маємо справу з трьома точками змащення, де використовується один тип мастила, то загальний його обсяг, що буде використано за рік дорівнює

$$V_j = \frac{50000 \cdot 100 \cdot 3}{16000} + \frac{50000 \cdot 100 \cdot 3}{16000} + \frac{50000 \cdot 100 \cdot 5}{16000} = 3437,5 \text{ л.}$$

Витрати рідини для попередження замерзання повітряних трубопроводів та пневматичних приладів залежать, очевидно, від тривалості періоду низьких температур та нормативній потребі на рухому одиницю даного типу, що встановлюється з технічної документації.

Тема 8. Трудові ресурси

Чисельність працівників в сфері технічної експлуатації

Загалом персонал будь-якого підприємства міського електротранспорту поділяється на:

- працівників основного виробництва, які безпосередньо здійснюють технічну експлуатацію, до них відносяться слюсарі з ремонту рухомого складу, слюсарі-електрики з ремонту електрообладнання, токарі, фрезерувальники, зварювальники, малярі, тобто ті працівники, які беруть безпосередню участь в технологічних операціях з обслуговування та ремонту рухомого складу;

- допоміжні працівники, до яких відносяться працівники, які не беруть участі безпосередньо в технологічних операціях, а саме прибиральники, транспортні робітники, сторожі, налагоджувальники технологічного обладнання;

- інженерно-технічні працівники і молодший обслуговуючий персонал.

Кількість працівників основного виробництва визначається як результат від ділення річного обсягу робіт на річний фонд робочого часу.

Відрізняють списковий і явочний склад робітників. Списковий - це повний склад робітників, який включає робітників, що вийшли на роботу, робітників, які знаходяться у відпустці, і відсутні з поважних причин. Явочний склад робітників - це кількість робітників, які вийшли на роботу. Спискова і явочна кількість робочих визначають за формулами:

$$X_{cn} = \frac{T_z}{T_{fd}}; \quad X_{яв} = \frac{T_z}{T_{fn}},$$

де T_z — річний обсяг робіт, люд.год;

T_{fd} — дійсний річний фонд робочого часу робітника, год.;

T_{fn} — нормативний фонд робочого часу, год.

Спискова кількість робітників може бути визначена не тільки для підприємства в цілому, а й для окремих ділянок, де річний обсяг робіт визначається в людино-годинах. Для інших ділянок, як правило, кількість обслуговуючого персоналу визначається за кількістю обладнання, яке ними

обслуговується. У цьому випадку спершу визначається явочна кількість робочих, за яким в подальшому визначається їх спискова чисельність. Виняток складають види робіт на обладнанні, яке обслуговується одним робітником. Спискова кількість робітників у середньому на 10%-12% перевищує явочну кількість.

Під час виконання розрахунків за даними технологічного процесу є можливість з великою диференціацією вказувати трудомісткості за окремими видами робіт і на підставі даних операційних карт у відомостях розрахунку річних обсягів роботи і кількості робітників, вказувати також технологічне обладнання та інструмент, які необхідні для виконання робіт.

Кількість допоміжних робітників на ділянках основного виробництва приймається у відсотках від загальної кількості робочих. Як правило, цей відсоток становить 25%-35%.

Кількість інженерно-технічних працівників і молодшого обслуговуючого персоналу також визначається у відсотковому відношенні до загальної кількості основних і допоміжних робочих. Як правило, ці відсотки дорівнюють:

- інженерно-технічні працівники (ІТП) - 17%-19%;
- молодших обслуговуючий персонал (МОП) – 1%.

При визначенні кількості ІТП безпосередньо на виробництві необхідно встановлювати, що на кожного майстра повинно приходиться 20-25 робітників. На трьох майстрів повинен бути один старший майстер. Загальну кількість ІТП і МОП, які працюють безпосередньо на виробництві, приймають у наступних межах:

- ІТП - не більше 18% від кількості робітників у цеху;
- МОП - 1% від кількості робітників у цеху.

Коли на підприємстві відсутня цехова структура, то приймають:

- ІТП - не більше 6% від кількості робітників на ділянці;
- МОП - 1% від кількості робітників на ділянці.

Шляхи зменшення витрат трудових ресурсів

При визначенні чисельності робітників типовим є завдання визначення оптимальної чисельності робочих, які обслуговують декілька робочих місць. Якщо один або кілька робітників будуть обслуговувати більше робочих місць, то збільшується продуктивність праці, а витрати на заробітну плату в розрахунку на одиницю продукції зменшаться. З іншої сторони, умовно сталі витрати на одиницю продукції, що включають затрати на утримання обладнання, збільшаться, тому що продуктивність обладнання зменшиться

внаслідок збільшення простою обладнання. Оптимальною кількістю обладнання, яке обслуговується одним або кількома робітниками, буде таке, за яким сума витрат на одиницю продукції буде мінімальною.

Критерієм оптимальності може бути величина витрат S на одне робоче місце,:

$$S = \frac{(N \cdot C_e + M \cdot C_p)}{Q},$$

де C_e – умовно сталі витрати на одне робоче місце за одиницю часу;

C_p – заробітна плата з нарахуваннями на одного робітника, що обслуговує кілька робочих місць в одиницю часу;

Q – кількість діючих робочих місць;

N – кількість робочих місць, що обслуговуються;

M – кількість робітників, які зайняті обслуговуванням N робочих місць.

Щоб забезпечити оптимальну чисельність робітників, треба врахувати обмеження за обсягом існуючих виробничих ресурсів, наприклад за чисельністю робітників різних професій, кількістю обладнання, встановленою програмою випуску продукції. При цьому можливі значення M і N вибирають тільки в межах встановлених обмежень. Кожна одиниця обладнання може працювати, обслуговуватися або очікувати обслуговування, тобто із загальної кількості N робочих місць, які обслуговуються, працює Q , кількість H обслуговуються і L очікують обслуговування:

$$N = Q + H + L.$$

Для вибору з кількості варіантів обслуговування, які розглядаються, оптимально необхідно для кожної пари значень робочих місць N і кількості робітників M визначити величини Q , H та L . Для цього використовують теорію масового обслуговування.

Для вибору моделі процесу насамперед треба визначити, з якою кількістю вимог на обслуговування маємо справу. Як правило, в теорії масового обслуговування розглядаються дві принципові ситуації щодо кількості вимог на обслуговування:

- необмежена кількість вимог в джерелі живлення - „розімкнена система масового обслуговування”, яка характеризується тим, що потік вимог на обслуговування не залежить від вихідного потоку з обслуговування;
- обмежена кількість вимог у джерелі живлення - „замкнута система”, яка характеризується тим, що інтенсивність надходження вимоги на

обслуговування залежить від кількості вимог, які повернулися в джерело живлення.

Для замкнутої системи масового обслуговування інтенсивність потоку кожен раз змінюється стрибком при надходженні нової вимоги на обслуговування від джерела та закінченні обслуговування.

Числові характеристики такої системи масового обслуговування визначають за наступними формулами.

1. Імовірність того, що всі робітники, здатні працювати на кількох робочих місцях, вільні:

$$P_0 = \frac{I}{\sum_{k=0}^M \frac{N!}{k!(N-k)!} \rho^k + \sum_{k=M+1}^N \frac{N!}{M^{k-M} M!(N-k)!} \rho^k},$$

де $\rho = \lambda/\mu$; λ – середня частота виникнення потреб у одному робочому місці в одиницю часу; μ – кількість вимог, яке може обслужити один робітник за одиницю часу при безперервному обслуговуванні, $\mu=I/T_p$; T_p – середня тривалість обслуговування однієї вимоги.

2. Імовірність того, що в системі знаходиться k вимог ($M \leq k \leq N$)

$$P_k = \frac{N!}{M^{k-M} M!(N-k)!} \rho^k P_0.$$

3. Середня кількість зайнятих робочих місць:

$$Q = \sum_{k=0}^N (N-k) P_k.$$

4. Середня кількість робочих місць, які очікують обслуговування:

$$L = \sum_{k=M+1}^N (k-M) P_k.$$

Запитання до самоперевірки

1. Розкрити сутність протиріччя між необхідністю збільшення оборотного фонду запчастин, збитками від простоїв і витратами на придбання, транспортування і утримання цього фонду.
2. Перелічити споживачів електроенергії постійного струму, що використовується на технологічні потреби.
3. Пояснити порядок визначення чисельності працюючих за даними технологічних карт, де зазначені трудомісткості операцій.

Модуль 4. ОТРИМАННЯ І ОБРОБКА ЧИСЛОВИХ ДАНИХ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РУХОМОГО СКЛАДУ

Тема 9. Елементи теорії ймовірностей та математичної статистики

Попередні відомості

Технічна експлуатація рухомого складу (далі - РС) базується на теорії надійності - науки, що вивчає закономірності змін технічного стану, відмов систем і елементів технічних пристроїв та причин їх виникнення [11, 13]. Теорія надійності має відповідний математичний апарат, що поєднує моделі й методи, за допомогою яких вирішуються проблеми оцінки, прогнозування, оптимізації різних показників надійності. Найчастіше при цьому мають справу з імовірнісними і статистичними характеристиками, що забезпечують можливість кількісної оцінки якісних категорій об'єктів. Слід підкреслити, що мова не йде про просте застосування імовірностно-статистичних методів. У теорії надійності вони мають свою специфіку, вимагають спеціального вивчення.

При аналізі й розрахунку надійності технічних пристроїв доводиться оперувати випадковими величинами. Це зумовлено тим, що відмова будь-якої деталі викликається факторами, більшість з яких має випадковий характер (якість матеріалу, виготовлення і зборка, режими роботи, умови експлуатації та ін.), отже і тривалість роботи деталі до моменту відмови також буде випадковою величиною. Практично важко зберегти сталість умов виробництва й експлуатації. Неминучі коливання умов експлуатації призводять до розкиду якості й властивостей РС. Неможливо передбачити строк служби кожного трамвайного вагона чи тролейбуса, в тому числі їхніх складових частин, можна лише говорити про ймовірність збереження тієї чи іншої його властивості. Усе це визначає необхідність використання імовірностно-статистичних методів при вирішенні теоретичних і практичних задач експлуатації рухомого складу міського електротранспорту.

Основні поняття та визначення

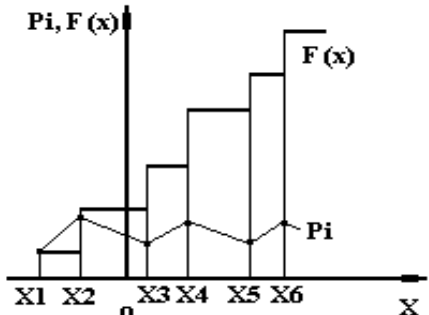
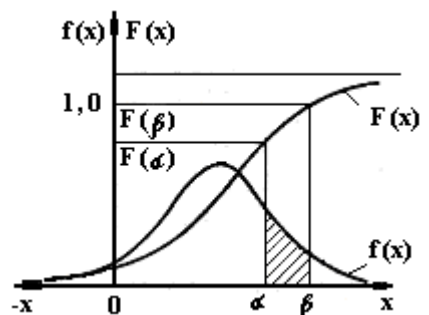
Теорія ймовірностей - це математична наука, що вивчає закономірності випадкових явищ і розподілу випадкових величин. Вона є не тільки обчислювальним апаратом теорії надійності, але і її методологічною базою, тому що дозволяє більш повно описати процеси створення і використання виробів. Коли йдеться про застосування методів теорії ймовірностей, іноді приходить чути заяви про те, що ці методи нібито узаконюють наявність

браку і навіть аварій у роботі. Насправді мова йде про методи аналізу накопиченого матеріалу і розробку на цій основі практичних заходів щодо максимального зниження кількості відмов і аварій. У теорії надійності використовуються такі основні поняття, як подія, імовірність, сума і добуток подій, випадкові величини. Багато положень і висновки про надійність систем базуються на застосуванні основних теорем теорії імовірностей: про додавання і множення імовірностей, про повторення дослідів, інтегральної теореми Лапласа та ін. На основі формул Бернуллі, Лапласа, Пуассона та інших складені таблиці з розрахунку надійності [14, 15]. Велика увага в теорії надійності приділяється використанню законів розподілень випадкових величин, тобто таких величин, що в результаті експерименту можуть прийняти ряд можливих значень.

Законом розподілу випадкової величини називається будь-яке співвідношення, що встановлює зв'язок між можливими значеннями випадкової величини і відповідними імовірностями. Закон розподілу може мати різні форми.

Рядом розподілу дискретної випадкової величини X називається таблиця, де перелічені можливі значення цієї випадкової величини $x_1, x_2, \dots, x_s, \dots, x_n$ з відповідними до них ймовірностями $p_1, p_2, \dots, p_s, \dots, p_n$, де $p_i = P(X = x_i)$ і обов'язково виконується умова $\sum_{i=1}^n p_i = 1$.

Графічне зображення ряду розподілу показано на рис. 4.9.1 і називається полігоном розподілу.

	
<p>Рис. 4.9.1 – Полігон і функція розподілу дискретної випадкової величини</p>	<p>Рис. 4.9.2 – Щільність імовірностей $f(x)$ і функція розподілу $F(x)$ неперервної випадкової величини</p>

Функцією розподілу випадкової величини X називається функція $F(x)$, що виражає імовірність того, що X прийме значення, менше ніж x :

$$F(x) = P(X < x).$$

Функцією розподілу є неспадна функція, що має наступні властивості:

$$F(-\infty) = 0; F(+\infty) = 1; F(x_1) \leq F(x_2),$$

за умови

$$x_1 \leq x_2; P(\alpha < X < \beta) = F(\beta) - F(\alpha).$$

Для дискретних випадкових величин функція розподілу є розривною ступінчастою функцією, а для неперервних випадкових величин вона є неперервною і диференційованою.

Щільністю розподілу неперервної випадкової величини називається функція

$$f(x) = F'(x).$$

Щільність розподілу будь-якої випадкової величини має властивості:

$$f(x) \geq 0;$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1;$$

$$P(\alpha < X < \beta) = \int_{\alpha}^{\beta} f(x) dx.$$

Функцію розподілу $F(x)$ і щільність розподілу $f(x)$ часто називають законом розподілу в інтегральній і диференціальній формах відповідно. Графічне зображення їх показане на рис. 4.9.2.

Числовими характеристиками випадкових величин є так звані моменти розподілу, з яких найбільше застосовуються наступні.

Математичним сподіванням випадкової величини є середнє значення, що обчислюється за формулами:

для дискретної випадкової величини

$$\nu_1 = M[X] = \sum_{i=1}^n x_i p_i,$$

для безперервної випадкової величини

$$\nu_2 = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) d(x).$$

Дисперсія – це центральний момент другого порядку, обчислюється за формулою:

для дискретної випадкової величини

$$\mu_2 = D[X] = \sum_{i=1}^n (x_i - M[X])^2 p_i,$$

для безперервної випадкової величини

$$\mu_2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - M[X])^2 f(x) d(x).$$

Якщо центрованою випадковою величиною називається різниця між випадковою величиною X і її математичним сподіванням $M[X]$

$$X = X - M[X],$$

то дисперсія випадкової величини X є математичним сподіванням квадрату центрованої величини

$$D[X] = M[X^2].$$

Дисперсія характеризує ступінь розсіювання випадкової величини відносно її математичного сподівання. Найчастіше для характеристики ступеня розсіювання випадкової величини застосовують середнє квадратичне відхилення або стандартне відхилення (стандарт):

$$\sigma_x = \sqrt{D[X]},$$

і коефіцієнт варіації

$$V_x = \frac{\sigma_x}{M[X]}.$$

Більше використовують закони розподілень дискретних і безперервних випадкових величин, що наведені у табл. 4.9.1.

Таблиця 4.9.1 – Закони розподілень випадкових величин і їх характеристики

Закон розподілу	Визначальний параметр	Діапазон можливих значень X	Щільність розподілу, $f(x)$	Функція розподілу, $F(x)$	Математичне сподівання, $M[X]$	Середнє квадратичне відхилення, σ_x	Коефіцієнт варіації, V_x
Дискретні випадкові величини							
Біномі-нальне	$n; p$	$X=0, 1, 2, \dots, n$	$P_{x,n} = C_n^x p^x (1-p)^{n-x}$	$\sum_{i=0}^x C_n^i p^i (1-p)^{n-i}$	np	$\sqrt{np(1-p)}$	$\sqrt{\frac{1-p}{np}}$
Пуа-сона	λ	$X=0, 1, 2, \dots$	$P_x = \frac{\lambda^x}{x!} e^{-\lambda}$	$\sum_{k=0}^x \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}$	λ	$\sqrt{\lambda}$	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$

Закон розподілу	Визначальний параметр	Діапазон можливих значень X	Щільність розподілу, $f(x)$	Функція розподілу, $F(x)$	Математичне сподівання, $M[X]$	Середньо квадратичне відхилення, σ_x	Коефіцієнт варіації, Vx
Безперервні випадкові величини							
Рівномірний	$a; \beta$	$(a-\beta) \leq x \leq (a+\beta)$	$\frac{1}{2\beta}$	$\frac{1}{2\beta}(x + \beta - a)$	a	$\frac{\beta}{\sqrt{3}}$	$\frac{\beta}{a\sqrt{3}}$
Експоненціальний	λ	$0 \leq x < +\infty$	$\lambda e^{-\lambda x}$	$1 - e^{-\lambda x}$	$\frac{1}{\lambda}$	$\frac{1}{\lambda}$	1
Ерланга	a	$0 \leq x < +\infty$	$\frac{4}{a^2} x e^{-\frac{2x}{a}}$	$1 - \left(1 + \frac{2x}{a}\right) e^{-\frac{2x}{a}}$	a	$\frac{a}{\sqrt{2}} = 0,707a$	$0,707$
Релея	a	$0 \leq x < +\infty$	$\frac{\pi}{2a^2} x e^{-\frac{\pi x^2}{4a^2}}$	$1 - e^{-\frac{\pi x^2}{4a^2}}$	a	$a \sqrt{\frac{4 - \pi}{\pi}}$	$0,524$
Вейбулла - Гнеденко	$a_e; b$	$0 \leq x < +\infty$	$\frac{b}{a_e} \left(\frac{x}{a_e}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{x}{a_e}\right)^b}$	$1 - e^{-\left(\frac{x}{a_e}\right)^b}$	$a_e \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)$	$\frac{a_e \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{b}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)\right]^2}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)}$	$\frac{\sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{b}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)\right]^2}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)}$
Нормальний	$a; \sigma$	$-\infty < x < +\infty$	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \Phi(t)$	a	σ	$\frac{\sigma}{a}$
Логарифмічно-нормальний	$a_y; \sigma$	$0 < y < +\infty$ $y = \lg x$	$\frac{M}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-a_y)^2}{2\sigma^2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{t_l} dt_l = \Phi(t_l)$	$e^{\left(\frac{a_y}{M} + \frac{\sigma_y^2}{2M^2}\right)}$	$e^{\left(\frac{a_y}{M} + \frac{\sigma_y^2}{2M^2}\right) + \frac{\sigma^2}{2M^2}}$	$\sqrt{e^{\frac{\sigma^2}{M^2}} - 1}$
Гама-розподіл	$r; \lambda$	$0 \leq x < \infty$	$\frac{1}{\Gamma(r)} \lambda^r x^{r-1} e^{-\lambda x}$	$\frac{\lambda^r}{\Gamma(r)} \int_0^x x^{r-1} e^{-\lambda x} dx$	$\frac{r}{\lambda}$	$\frac{\sqrt{r}}{\lambda}$	$\frac{1}{\sqrt{r}}$

Основні поняття математичної статистики

Математична статистика розробляє методи обробки даних спостережень або експериментів з метою одержання обґрунтованих висновків про масові явища і процеси. В результаті застосування таких методів стає можливим визначити загальні імовірнісні характеристики процесів, що спостерігаються: імовірності, закони розподілень, математичні сподівання, дисперсії та ін.

Якщо є визначена конкретна (часто обмежена за обсягом) інформація про напрацювання до відмови групи об'єктів, можна на підставі застосування статистичних методів зробити більш загальні висновки щодо показників надійності для всіх об'єктів цього типу, а також про технологію їхнього виготовлення. Слід знати, що отримані за результатами спостережень за групою об'єктів висновки й оцінки відбивають випадковий склад об'єктів групи, тому є наближеними. Застосовуючи методи математичної статистики, наприклад, вибіркового методу, можна найкращим способом використовувати наявну інформацію і на підставі дослідження вибіркової або сукупності вибірки з генеральної сукупності одержати досить достовірні оцінки показників, вказуючи і ступінь її вірогідності. У цьому й полягає наукова цінність статистичних методів і їх практична значущість.

Поняття про вибірку та її характеристики є одним з головних у математичній статистиці. Якщо є деяка генеральна сукупність випадкової величини X і ця величина діє за законом розподілу $F(x)$, то кажуть, що генеральна сукупність також розподілена за законом $F(x)$.

Виконаємо випадковим і незалежним чином відбір n значень величини X з генеральної сукупності і одержимо вибірку послідовність x_1, x_2, \dots, x_n , яка є сукупністю n однаково розподілених незалежних величин X_1, X_2, \dots, X_n . У цьому разі вважається, що вибірка x_1, x_2, \dots, x_n взята з генеральної сукупності величини X . Генеральна сукупність у загальному випадку може бути нескінченно великою за обсягом N (тобто за числом об'єктів або ознак) і кінцевою. Чим більше обсяг n вибірки, тим більше обґрунтоване судження можна висловити щодо властивості генеральної сукупності.

Нехай на осі X взята деяка точка x , n_x - число значень вибірки, розташованих лівіше x , а n — загальне число значень X у вибірці (обсяг). Тоді відношення $\frac{n_x}{n}$ - це частота значень $X < x$ і залежить функціонально від x .

Позначимо цю частоту $W_n(x)$ і назовемо її функцією розподілу вибірки або емпіричною функцією розподілу:

$$W_n(x) = \frac{n_x}{n}.$$

$W_n(x)$ є оцінкою імовірності нерівності $X < x$ і, отже, оцінкою теоретичної функції розподілу $F(x) = P(X < x)$ величини X , тобто функції розподілу генеральної сукупності. Для розподілу вибірки можна одержати вибіркові характеристики, що будуть оцінками параметрів характеристик (математичного сподівання, дисперсії, асиметрії та ін.) теоретичного розподілу.

Отримані точкові значення оцінок можуть відрізнятися від оцінюваних параметрів при малому обсязі вибірки, тому на практиці користуються довірчим інтервалом, що покриває невідомий оцінюваний параметр із заданою імовірністю β .

Тема 10. Отримання інформації за даними спостережень

Вимоги до інформації про технічний стан

Збір і обробка інформації про технічний стан рухомого складу повинна забезпечити вирішення наступних завдань [16]:

- визначення і оцінка показників стану РС та його складових частин;
- виявлення конструктивних і технологічних недоліків РС, що знижують його надійність;
- виявлення складових частин, що обмежують надійність РС;
- оцінку причин виникнення відмов;
- оцінку впливу якості технічного обслуговування і ремонту на технічний стан;
- виявлення впливу умов і режимів експлуатації на надійність РС.

Зібрана інформація повинна бути достовірною. Первинну інформацію слід одержувати від одних і тих самих, грамотних та досвідчених працівників тому, що поява відмови - явище випадкове і внесення суб'єктивних похибок, пов'язаних з недостатньою кваліфікацією працівників, не дозволить виявити які-небудь закономірності в появі тієї чи іншої відмови, або обробка такої інформації може призвести до неправильних висновків щодо фактичної надійності РС чи його складових частин. Тому для формування первинної інформації вдаються до комісійного методу оцінки несправностей із складанням відповідних документів (актів).

Інформація повинна бути повною для одержання правильних висновків і рішень. При аналізі надійності РС інформацію збирають за фактом відмови у міжремонтний період (неплановий ремонт) і за фактом відмов, що викликають збільшення обсягу ремонту або простою на планових ремонтах (надплановий ремонт). Це неповна інформація, тому що вона не враховує планової зміни деталей і складальних одиниць. Оскільки сам момент планового ремонту є випадковим, визначеним вольовим способом, тобто заміна тієї чи іншої деталі або складальної одиниці на РС не підкріплена якими-небудь об'єктивними причинами. У цьому разі значна частина інформації в розрахунках не враховується, що вносить великі похибки у визначення показників надійності. Власне, тут перевіряються обрані заздалегідь міжремонтні терміни, наскільки вони вдало задані, а наявна інформація дає можливість приблизно визначити лише деякі показники надійності (імовірність безвідмовної роботи, збереженість, ремонтпридатність та деякі інші) і не дозволяє прогнозувати надійність.

Інформація має бути оперативною. В умовах інтенсивних перевезень особливого значення набуває забезпечення інженерного складу підприємств міського електротранспорту на різних рівнях своєчасною інформацією про зміни кількості відмов. При цьому необхідна інформація як про якісні, так і про кількісні характеристики відмов. У РС робота всіх складових частин взаємозалежна, тому несвоєчасне виявлення відмови навіть будь-якої малозначної деталі може призвести до порушення графіка або, що гірше, безпеки руху.

Це особливо серйозно для деталей і складальних одиниць, які безпосередньо забезпечують безпеку руху. Разом з тим інформація повинна безупинно і постійно накопичуватися для обґрунтування обсягів робіт, виконуваних на планових ремонтах, а також для оптимізації всієї системи технічного обслуговування РС.

Інформація повинна легко оброблятися, бути короткою й інформативно місткою. Для виконання цієї вимоги, як правило, розробляють системи кодування і передачі інформації з використанням сучасних засобів передачі й обробки. Ці засоби дозволяють автоматизувати облік і звітність. Форми обліку даних про відмови повинні бути короткими і містити чіткі й достатні відомості, які дозволяють виявити причини й наслідки відмови. У загальному випадку облікова інформація повинна містити такі відомості:

- паспортні дані трамвайного вагона чи тролейбуса;
- номери маршрутів, де експлуатується РС;

- дати всіх планових і непланових ремонтів і технічного обслуговування;
- характер пошкодження (відмови) і можливі причини;
- напрацювання до відмови від початку експлуатації і від усіх видів ремонту і технічного обслуговування.

Система передачі інформації повинна мати зворотний зв'язок. У даний час практично всі експлуатаційні підприємства мають персональні комп'ютери, що дозволяє оперативно обробляти інформацію і результати обробки доводити до керівників підрозділів, які забезпечують технічне обслуговування і ремонт, а також дозволяє оперативно вживати організаційні заходи, спрямовані на найшвидше виявлення і усунення причин, які викликають ті чи інші відмови або несправності. Оброблена інформація, крім того, повинна передаватися заводам - виробникам РС, для того щоб спільними зусиллями підвищити надійність трамвайних вагонів і тролейбусів.

Плани спостережень

Показники технічного стану РС є випадковими величинами, їх визначення базується на використанні статистичних експлуатаційних даних. Для цього застосовують розглянуті статистичні методи розрахунку, точкових і інтервальних оцінок показників на основі вибірових даних, отриманих у результаті спостережень за роботою об'єктів генеральної сукупності.

У більшості випадків безвідмовність РС і його складових одиниць є високою і для одержання якісної вихідної інформації потрібна велика тривалість спостережень або великий обсяг вибірки. Розрахунок оцінок показників надійності в зв'язку з цим багато в чому визначається видами плану спостережень (випробувань) і закону розподілу напрацювання до відмови.

Залежно від конкретних умов і поставлених завдань застосовують наступні плани:

$$[N, U, N]; [N, U, T]; [N, U, r]; [N, R, T]; [N, R, r],$$

де N - кількість виробів, поставлених під спостереження, в нашому випадку - число одиниць РС у контрольній партії;

U - позначення планів, в яких вироби, які відмовили, не замінюються новими;

T - установлене напрацювання або тривалість спостережень;

R - позначення планів, у яких об'єкти, що відмовили, замінюються новими чи відремонтованими;

r - число відмов або граничних станів виробів, до виникнення яких ведуться спостереження.

Звичайно для промислових виробів напрацювання до відмови оцінюється в годинах (наприклад, моторесурс дизеля). На міському електротранспорті для оцінки надійності рухомого складу здебільшого використовується пробіг, тобто відстань, пройдена трамвайним вагоном чи тролейбусом у робочому стані. Тому в планах випробувань на надійність РС для оцінки тривалості спостережень користуються пробігом L_0 . Таким чином, плани спостережень за надійністю РС можуть бути подані у вигляді

$$[N, U, N]; [N, U, L_0]; [N, U, r]; [N, R, L_0]; [N, R, r].$$

Розглянемо кожний з них стосовно умов експлуатації РС.

План спостережень $[N, U, N]$ чи повний план означає, що під спостереження взята контрольна партія з N одиниць РС чи його складальні одиниці і що випробування проводяться до відмови всіх об'єктів і вироби не замінюються новими.

Таким чином, при повному плані визначають напрацювання до відмови ремонтоне придатних виробів. Якщо об'єкти ремонтпридатні, то при такому плані виявляють напрацювання тільки до першої відмови, потім їх виключають з дослідів. Інформацію про подальші напрацювання до відмови цих об'єктів можуть бути враховані як додаткова інформація про роботу N_I об'єктів (більше N).

Модель експлуатації $N=5$ при плані $[N, U, N]$ наведена на рис. 4.10.1. Кількість контрольованих об'єктів визначають відповідно до вимог до обсягу вибірки.

У зв'язку з використанням для РС системи планово-попереджувальних ремонтів широке застосування, очевидно, матиме план з фіксованим напрацюванням L_0 , тобто $[N, U, L_0]$, L_0 у загальному випадку — встановлений пробіг, після якого виконується відновлення працездатності об'єкта або він замінюється новим.

Для РС і його складових вибір L_0 залежить від виду об'єкта і характеру відмови. Наприклад, для ізоляції тягових двигунів L_0 може бути визначено як пробіг між заводськими ремонтами або від заводського ремонту (виготовлення) до ТО-2, якщо на ньому відновлюються властивості ізоляції. Для інших вузлів L_0 може бути пробігом між КР і СР.

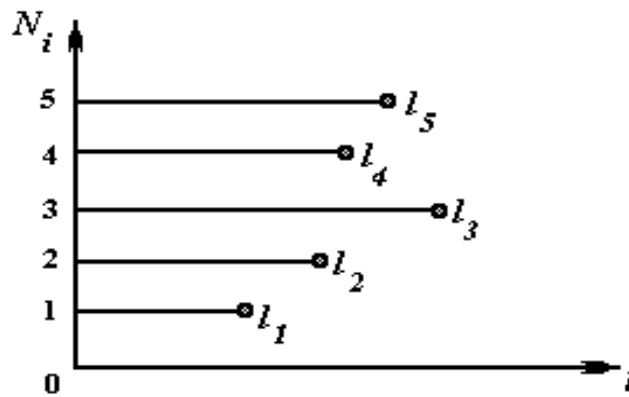


Рис. 4.10.1 – Модель плану спостережень $[N, U, N]$

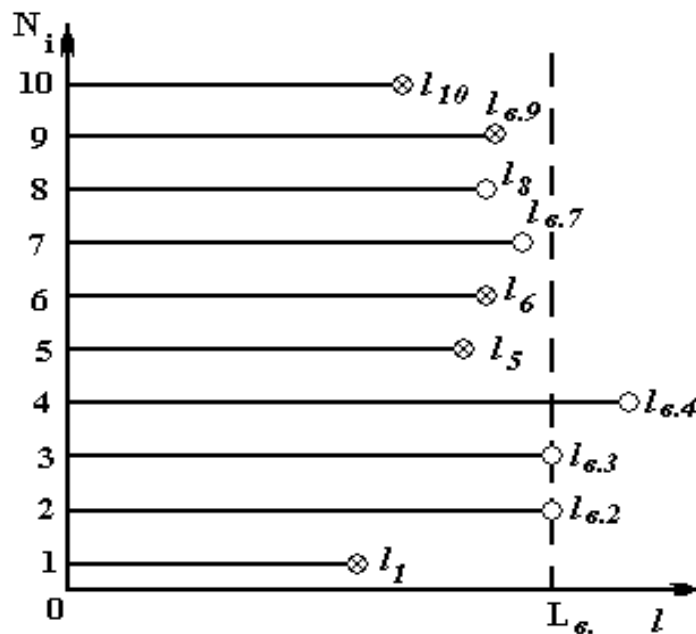


Рис. 4.10.2 – Модель плану спостережень $[N, U, L_0]$;

⊗ - відмова, ○ - ремонт плановий

При плані $[N, U, L_0]$, модель якого зображена на рис. 4.10.2, спостерігається стан всіх N об'єктів протягом пробігу L_0 . При першій відмові i -го об'єкта з напрацюванням $l_i < L_0$ подальше спостереження за об'єктом припиняється. Крім того, у дані про результати спостережень не включається інформація про об'єкти, що не відмовили за пробіг L_0 або були поставлені на ремонт. Так, згідно з рис. 4.10.2 можна прийняти до врахування дані про пробіги до відмови l_1, l_5, l_6, l_8 і l_{10} . Об'єкти 7 і 9 зі спостережень виключені, тому що вони були поставлені на плановий ремонт з пробігом менше L_0 .

Дані про пробіги об'єктів 2, 3 і 4 можуть бути використані як додаткова інформація для визначення параметрів усіченої вибірки, а саме

$$L_{0(i)} \geq L_0 \ (i=2;3;4).$$

Таким чином, при плані $[N, U, L_0]$ частина інформації втрачається, що знижує точність визначення показників надійності. Більш достовірні дані можна одержати, якщо відомий вид закону розподілу напрацювання до відмови. Перевага цього плану полягає в меншому терміні спостережень, оскільки відпадає необхідність очікувати досягнення відмов всіх N об'єктів. Саме тому цей план широко використовується у практиці визначення показників надійності, особливо якщо чисельність об'єктів N досить велика, а імовірність відмови мала. План $[N, U, L_0]$ може бути використаний як для ремонтпридатних об'єктів, так і для ремонтнепридатних. Відмінність полягає в тому, що відремонтований після першої відмови об'єкт надалі зі спостережень виключається.

План $[N, U, r]$ можна охарактеризувати наступною моделлю: під спостереження поставлено N об'єктів, що відмовили, вироби новими не замінюються, спостереження продовжують до накопичення даних про відмови або до деяких граничних станів.

Схема моделі подана на рис. 4.10.3, де напрацювання розташовані в порядку зростання. Як тільки в об'єкта $N_{i=r}$ відбудеться відмова, спостереження припиняють, хоча $N-r$ об'єктів ще не мали відмов і продовжують працювати. Наступний після першої відмови напрацювання кожного з r об'єктів, що відмовили, до $l < L_r$ об'єктів не враховується, навіть якщо вони після ремонту знову використовуються в експлуатації. У загальному випадку ці дані можуть вивчатися незалежно від використаних у плані $[N, U, r]$. У практиці розрахунків показників надійності РС цей план використовується рідко.

Те саме можна сказати і про план $[N, R, r]$, коли взяті під спостереження N об'єктів після відмови замінюються новими (чи ремонтуються за досить короткий час), а спостереження ведуть до одержання r відмов. Якщо час ремонту великий, використовують план U . У цьому разі одержуємо ряд реалізацій напрацювання, що дає неповну чи усічену вибірку.

Заслугує на увагу план $[N, R, L_0]$, який особливо важливий для визначення показників відновлюваних виробів. При цьому плані спостережень (рис. 4.10.4) вироби, що відмовили, замінюють новими чи відремонтованими. Час відновлення працездатності об'єкта (ремонт, заміни) повинен бути малим,

щоб не вплинути на результати визначення оцінок показників надійності. У протилежному разі варто відмовитися від плану R і використовувати план U .

З розгляду моделі плану спостережень $[N, R, L_0]$, згідно з рис. 4.10.4, випливає, що статистична інформація про напрацювання при цьому плані може бути трьох видів:

- 1) напрацювання i -го об'єкта до першої відмови (наприклад, $l_{1.1}, l_{2.1}, l_{N1}$);
- 2) напрацювання i -го об'єкта до відмови після відновлення працездатності або заміни, наприклад $l_{1.2}, l_{N.2}$;
- 3) напрацювання до відмови після початку роботи або після ремонту невідомий, але вона або не менше L_0 (напрацювання $l_{3.1}$), або менше L_0 (напрацювання $l_{1.3}, l_{2.2}, l_{N.3}$).

Для розрахунку параметрів закону розподілу до відмови можуть бути використані рівною мірою напрацювання перших двох видів, якщо вироби замінюються новими, а також при повному відновленні всіх робочих параметрів після ремонту.

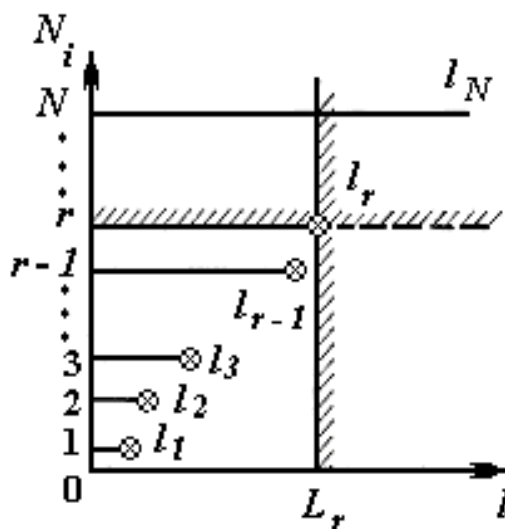


Рис. 4.10.3 – Модель плану спостережень $[N, U, r]$:
⊗ - відмова

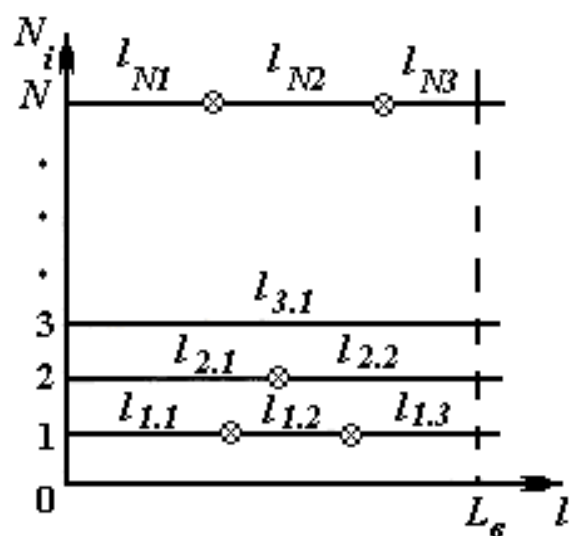


Рис. 4.10.4 – Модель плану спостережень $[N, R, L_0]$:
⊗ - відмова

Інформація про напрацювання третього виду також може бути частково використана. Нехай, наприклад, які-небудь з напрацювань третього виду, а $l_{1.3}, l_{2.2}, l_{N.3}$ виявляться більше, ніж найбільший з відомих напрацювань виду 1 і 2. Вони можуть бути враховані разом з наробітком $l_{3.1} > L_0$. Для визначення параметрів за усиченою вибіркою як напрацювання, за яким можна сказати, що

він більше від максимально відомого. Такий план дає змогу визначати ряд показників безвідмовності ремонтпридатних об'єктів.

Вивчення показників ремонтпридатності можливо на основі будь-якого плану спостережень з використанням даних про відновлення об'єктів, що відмовили. Вибір того чи іншого плану спостереження залежить від багатьох факторів: виду об'єктів, номенклатури показників, що підлягають оцінці за результатами спостереження, умов експлуатації та ін.

Важливо забезпечити достатній обсяг первинної інформації, її об'єктивність, повноту і точність даних.

Тема 11. Обробка даних про несправності рухомих одиниць

Вибіркові дані

Найбільш об'єктивні відомості про надійність виробів можна одержати на основі використання статистичних даних про несправності й відмови, отримані під час спостережень за експлуатацією генеральної сукупності, що являє собою деяку повну множину однорідних об'єктів, які можуть нас зацікавити. Прикладом генеральної сукупності можуть служити всі тролейбуси або трамвайні вагони одного типу, що експлуатуються в одному місті України. У більшості випадків неможливо одержати відомості про всі елементи множини, що складає генеральну сукупність. Тому звичайно використовують випадкову вибірку, тобто частину генеральної сукупності, що складається з елементів, відібраних ненавмисно, випадковим чином. Вибірка повинна бути репрезентативною (представницькою), тобто пропорції її об'єктів різних підвидів у середньому повинні відповідати пропорціям, що присутні в генеральній сукупності.

Параметри, які вичерпно характеризують генеральну сукупність, можуть бути отримані тільки на підставі використання повністю всіх даних про неї. Якщо використовуються дані випадкової вибірки, то одержують статистичні оцінки параметрів генеральної сукупності. Дані вибірки характеризують за допомогою частки (відносної частки) випадкової події, що визначається як відношення фактичного числа m появ даної події A до загального числа дослідів n , у яких подія A могла з'явитися, тобто $W_n(A)=m/n$.

При $n \rightarrow \infty$ частка наближається до імовірності випадкової події (статистичне визначення)

$$\lim_{n \rightarrow \infty} W_n(A) = P(A).$$

Якщо сукупність n значень випадкової величини розташувати в порядку зростання (або спадання) $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$ то одержимо варіаційний ряд n реалізацій випадкових величин. Розмахом цього ряду буде величина $\Delta X = x_n - x_1$. У розділі 1 було дано визначення емпіричної функції розподілу як статистичної оцінки теоретичної функції розподілу $P(x) = P(X < x)$. Графічне зображення цієї функції називають гістограмою.

Групування даних

Для статистичної обробки дані вибіркової сукупності поєднують в інтервали групування. Весь розмах ΔX можна розбити на k інтервалів $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$ у загальному випадку нерівної довжини. В інтервал попадають тільки ті m_i значень x з варіаційного ряду, що не виходять за межі i -го інтервалу.

Для математичного сподівання $M[X]$ найбільш придатною оцінкою є вибіркове середнє значення (середнє арифметичне реалізацій) випадкової величини.

$$x_{cp} = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n) / n. \quad (4.11.1)$$

Середнє значення в різних вибірках з однієї генеральної сукупності величини X може мінятися і, отже, також буде величиною випадковою. Її різні вибіркові значення X_{cpi} мають те ж розподілу і ті ж вибіркові характеристики, що і X . Доведено, що вибіркове середнє є оцінкою математичного сподівання.

Як оцінку характеристики розсіювання значень генеральної сукупності, тобто дисперсії $D[X]$, застосовують вибіркovu характеристику

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - x_{cp})^2, \quad (4.11.2)$$

тобто середнє арифметичне квадратів відхилень. Величину $\sigma = \sqrt{s^2}$ називають середнім квадратичним (стандартним) відхиленням.

При $n > 30$ застосовують також формулу

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - x_{cp})^2.$$

Формули для одержання точкових оцінок параметрів можуть бути знайдені різними методами [17-19].

Обчислення оцінок за методом максимуму правдоподібності

Нехай випадкова величина X розподілена за законом, щільність імовірностей якого $f(x, a)$, де a — деякий параметр закону. Тоді як функцію

правдоподібності L використовують деяку функцію, що залежить від n вибірових значень X і оцінки параметра a ,

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n, a) = \prod_{k=1}^n f(x_k, a).$$

Функція L досягає свого максимуму за деяким значенням a , що і буде оцінкою максимальної правдоподібності. Замість максимуму L зручніше шукати максимум $\ln L$, оскільки для них екстремум досягається при тому самому значенні a , яке знаходять, вирішуючи відносно a рівняння

$$d\ln L/da=0.$$

Наприклад, якщо $f(x, \lambda) = \lambda e^{-\lambda x}$, тобто розглядається експоненціальний закон розподілу, то:

$$L = \prod_{k=1}^n \lambda e^{-\lambda x_k} = \lambda^n e^{-\lambda \sum_{k=1}^n x_k},$$

$$\ln L = n \ln \lambda - \lambda \sum_{k=1}^n x_k; \quad \frac{d \ln L}{d \lambda} = n \frac{1}{\lambda} - \sum_{k=1}^n x_k = 0,$$

звідки

$$\lambda = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k} = \frac{1}{\bar{x}},$$

тобто оцінкою λ буде величина, обернена середньому значенню X .

Обчислення оцінок за методом моментів

Сутність методу моментів полягає в тому, що початкові або центральні моменти розподілу, які залежать від невідомих параметрів, прирівнюються до емпіричних моментів. Число рівнянь, а отже, і порядок моментів залежать від числа невідомих параметрів. Наприклад, відомо, що для нормального закону перший теоретичний початковий момент ν_1 (математичне сподівання) є параметр a , а другий теоретичний центральний момент (дисперсія) μ_2 — параметр σ^2 . Виконавши заміну теоретичних моментів емпіричними $\nu_1 = x_{cp}$; $\mu_2 = S^2$, одержимо на підставі формул (4.11.1) і (4.11.2)

$$a = x_{cp} \text{ та } \sigma^2 = S^2. \quad (4.11.3)$$

Збільшення обсягу вибірки (числа спостережень) відіграє важливу роль в одержанні вірогідності результатів. Існують статистичні методи розрахунку мінімального числа об'єктів спостережень: параметричний, коли вид закону розподілу досліджуваної випадкової величини відомий і непараметричний,

коли вид закону невідомий. Практичні прийоми виконання розрахунків за цими методами наведені в поясненнях до довідкових табл. 4.11.1 і 4.11.2.

Для визначення обсягу випробувань або числа об'єктів N за допомогою параметричного методу задаються відносною помилкою δ середнього значення (наприклад, напрацювання t_{cp}), довірчою імовірністю β і очікуваним коефіцієнтом варіації (для експоненціального закону $V=1$),

Відносна помилка визначається співвідношенням

$$\delta = (t_{\beta} - t_{cp}) / t_{cp},$$

де t_{β} - верхня одностороння довірна границя значення. Рекомендуються приймати

$$\delta = 0,05; 0,10; 0,15; 0,2;$$

$$\beta = 0,8; 0,9; 0,95; 0,99.$$

При непараметричному методі мінімальне число N об'єктів спостережень для перевірки необхідної імовірності $P(t)$ безвідмовної роботи протягом напрацювання t з довірчою імовірністю β визначається за умов відсутності відмов за час t . У випадку, якщо під час реалізації плану спостереження відбулася хоча б одна відмова, треба провести додаткові спостереження, тому що необхідне значення $P(t)$ не підтвердилося.

Наведені співвідношення дозволяють вирішувати й обернені задачі оцінки δ і β за фактично наявними обсягами або вибірками об'єктів.

Визначення закону розподілу та його параметрів

При дослідженні надійності РС та його складових частин, вузлів часто виникає необхідність визначення виду і формули закону розподілу тривалості роботи (напрацювання) до відмови за статистичними даними, наприклад, для встановлення моделі відмови, розрахунку показників і прогнозуванні надійності, оптимізації систем ремонтного обслуговування та ін.

При раптовій відмові можлива тільки фіксація тривалості роботи об'єкта до відмови t_i . Якщо ж відмова має поступовий характер, то можна простежити за зміною характеристик зразка (наприклад, вимірювати зношування через визначені інтервали) і вилучати з експлуатації зразки, в яких характеристики вийшли за межі допусків. Цей момент і буде вважатися відмовою, а час (чи пробіг) до його настання — напрацюванням до відмови. Стосовно до РС поняття напрацювання t частіше розуміють як пробіг l , що і буде переважно використано надалі у викладі матеріалу.

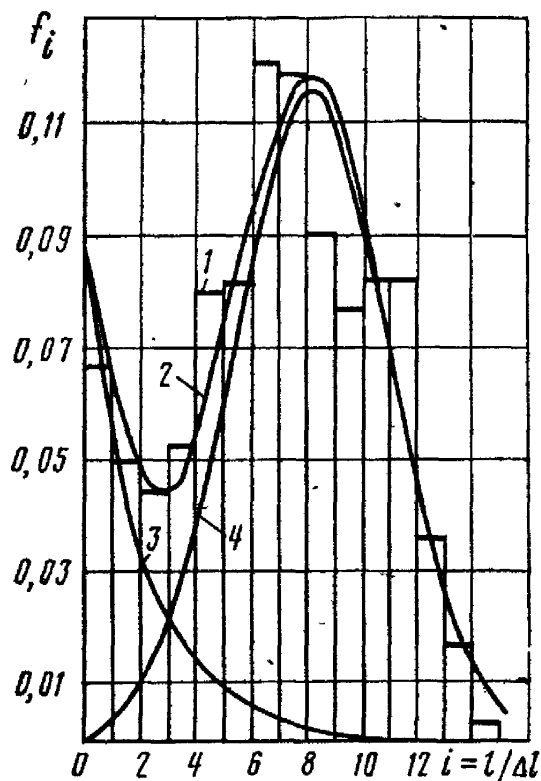


Рис. 4.11.1 – Гістограма (1) і суперпозиція (2), експоненціального (3) і нормального (4) законів розподілу напрацювання тягового двигуна до відмови ($\Delta l = 100 \cdot 10^3$ км)

Характерною рисою складальних одиниць РС є те, що їхні відмови можуть викликатися не однією, а декількома одночасно діючими причинами. Залежно від того, який з процесів розвивається інтенсивніше, відбудеться відмова того чи іншого виду. У такій ситуації сумарний j розподіл тривалості роботи до відмовлення об'єктів являє собою суміш, суперпозицію.

Обробка статистичних даних про тривалість роботи до відмови багатьох вузлів РС, особливо тягових електродвигунів (ТЕД) показала, що для них має місце суперпозиція нормального й експоненціального законів. Ізоляція тягових двигунів може бути пошкоджена внаслідок впливу піків перенапруг, старіння, зволоження, механічних пошкоджень і нагрівання. На рис. 4.11.1 показана гістограма розподілу пробігу до відмови ТЕД, що підтверджує наявність саме такої суперпозиції. У цьому разі щільність розподілу описується формулою

$$f(l) = C_1 f_1(l) + C_2 f_2(l),$$

де: C_1 C_2 — частки відмов, розподілених за експоненціальним і нормальним законами відповідно;

$f_1(l)$; $f_2(l)$ — щільність розподілень при експоненціальному і нормальному законах. Щільності розподілень.

$$f_1(l) = \frac{1}{L_{cp1}} \exp\left(-\frac{l}{L_{cp1}}\right); \quad (4.11.4)$$

$$f_2(l) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_2} \exp\left(-\frac{(l - L_{cp2})^2}{2\sigma_2^2}\right). \quad (4.11.5)$$

Параметри C_1 , C_2 , L_{cp1} , L_{cp2} , що входять у вирази (4.11.4) і (4.11.5), можна визначити за статистичними даними, тобто по оцінках параметрів сумарного розподілу $f(l)$. Для їхнього визначення слід скласти систему п'яти рівнянь, одне з яких — умова нормування $C_1 + C_2 = l$. Чотири інших рівняння одержують, прирівнюючи перший початковий, другий, третій і четвертий центральні статистичні моменти відповідним теоретичним. Вирішення отриманої системи доцільно шукати чисельними способами з використанням методів ітерацій. У ряді випадків процедуру визначення параметрів можна спростити, використовуючи властивості й особливості реальних відомостей про емпіричний розподіл і фізичні передумови моделей відмов.

Практичне заняття 2 (до теми 11): визначення кількості об'єктів спостережень для обчислення характеристик надійності

Мета заняття: отримання уявлень щодо визначення обсягів вибірки для проведення статистичних розрахунків

Нехай для певного вузла характер виникнення відмови вказує на модель миттєвих пошкоджень, що говорить про експоненціальний закон розподілу напрацювання до відмови. Необхідно визначити число об'єктів N , яких треба поставити для спостереження, щоб з довірчою імовірністю $\beta=0,9$ і з відносною помилкою не більше $\delta \leq 0,1$ оцінити середній напрацювання до відмови. Згідно з вихідними даними та з використанням таблиці необхідних обсягів вибірки знаходимо (при $V=l$), що $n=200$.

При непараметричному методі мінімальне число N об'єктів спостережень для перевірки необхідної імовірності $P(t)$ безвідмовної роботи протягом напрацювання t з довірчою імовірністю β визначається за умов відсутності відмов за час t . У випадку, якщо під час реалізації плану спостереженні відбулася хоча б одна відмова, треба провести додаткові спостереження, тому що необхідне значення $P(t)$ не підтвердилося.

Розрахунки виконують за формулою:

$$N = \ln(1-\beta) / \ln P(t),$$

або використовують відповідні таблиці.

У випадку обмеженого числа вихідних статистичних даних при розрахунку рекомендується наступний порядок визначення числа контрольних одиниць РС:

- задаємося рівнем відносної помилки δ і довірчою імовірністю β .
Доцільно використовувати значення $\delta=0,05; 0,1; \beta=0,90; 0,95$;

- знаходимо обсяг вибірки (вихідне число статистичних даних) n . Якщо елемент РС, показник надійності якого розраховується, є неремонтованим, то обсяг вибірки n є число елементів N , яких треба поставити під спостереження. У більшості випадків елементи РС ремонтпридатні і їх число може бути скорочене за рахунок збільшення тривалості випробувань (або навпаки, збільшенням числа контрольних елементів можна скоротити час випробувань). Число контрольних елементів N і тривалість контрольного напрацювання t зв'язані співвідношенням

$$Nt = nT_0/\eta, \quad (4.11.6)$$

де T_0 — напрацювання на одну відмову;

n — число даних про відмови елементів (обсяг вибірки);

η — коефіцієнт, що залежить від β

Таблиця 4.11.1

Відносна помилка δ	Обсяг n при довірчій імовірності β			
	0,80	0,9	0,95	0,99
0.05	300	600	1000	1000
0,1	80	200	300	600
0.15	45	90	150	300
0,2	27	55	90	184

Таблиця 4.11.2

n	Значення η при β рівному				N	Значення η при β рівному			
	0,99	0,95	0,9	0,8		0,99	0,95	0,9	0,8
24	0,67	0,75	0,79	0,85	150	0,84	0,88	0,90	0,93
45	0,72	0,79	0,83	0,86	200	0,86	0,89	0,92	0,94
55	0,75	0,81	0,85	0,89	300	0,88	0,91	0,93	0,95
80	0,78	0,84	0,87	0,91	600	0,91	0,94	0,95	0,97
90	0,79	0,85	0,88	0,92	1000	0,93	0,95	0,96	0,97

Відповідно до знайденої величини n знаходимо η з табл. 4.11.2 і визначаємо добуток $N \cdot t$ за формулою (4.11.6), задавши орієнтоване значення T_0 . Далі, використовуючи добуток $N \cdot t$, задавши t , можна визначити N .

Запитання до самоперевірки

1. Назвіть основні вимоги до інформації про надійність.
2. Основні задачі збору і обробки інформації про надійність рухомого складу.
3. В чому особливість різних планів спостережень за роботою об'єктів для визначення показників їх надійності?
4. Пояснити зв'язок точності визначення емпіричних законів і відповідних параметрів розподілу з плановими витратами на технічне обслуговування.
5. Чим можна пояснити двомодульність розподілу напрацювання до відмови деяких агрегатів?
6. Сутність методу максимуму правдоподібності для визначення оцінок параметрів.
7. Сутність методу моментів визначення параметрів.
8. В чому сутність методу поділяючих розбивок?
9. Назвіть критерії оцінки перевірки гіпотез вибору закону розподілу випадкових подій.

Модуль 5. Математичні моделі технічного стану рухомого складу

Тема 12. Загальні принципи формування математичних моделей надійності рухомого складу

Технічний стан як результат поєднання властивостей рухомого складу із зовнішніми навантаженнями

У реальних умовах завжди спостерігаються розкид початкових якостей об'єктів, їхня зміна (зношення) в експлуатації, що протікає в загальному випадку неоднаково в різних об'єктів, з різною швидкістю в різні періоди. Можливі також випадкові відхилення фактичних навантажень від розрахункових. Усе це враховується при проектуванні технічних пристроїв за рахунок запасу міцності (механічної, електричної і т.п.).

Розрахунки за умов самих несприятливих сполучень властивостей матеріалів і навантажень без урахування ймовірностей таких сполучень призводять до непотрібного обтяження деталей. Тому при виборі запасу міцності необхідно застосовувати статистичні дані, що враховують розподіли робочих властивостей X_p об'єктів і навантажень X_e , що дає змогу найбільш повно врахувати всі імовірні сполучення X_p і X_e , які можуть зустрітися на практиці.

Нехай маємо наступні вихідні ситуації:

- робочі властивості сукупності однотипних елементів розподілені відповідно до деякого закону $f_p(x)$. На елементи діє разове навантаження, розподілене за законом $f_e(x)$;
- робочі властивості однотипних елементів у сукупності розподілені за деяким законом $f_p(x)$, на кожний з елементів діє змінне ступінчасте або безперервне в часі навантаження. При цьому імовірність $f(x)dx$ появи навантаження в інтервалі $(x; x + dx)$ пропорційна частці часу прикладення навантаження в зазначеному інтервалі;
- навантаження і робочі властивості статистично незалежні.

Треба визначити q_0 — імовірність відмови елемента за термін служби, протягом якого на нього діє весь спектр навантажень. Коли прийняти, що види функцій робочих властивостей X_p і навантаження X_e не змінюються з часом, то взаємодію випадкових процесів $X_p(t)$ і $X_e(t)$ можна замінити сполученням двох

розподілів із щільностями імовірностей $f_p(x)$ і $f_e(x)$. Маючи на увазі, що детермінована величина є частковим видом випадкової величини, можливі наступні їх сполучення (див. рис. 5.12.1).

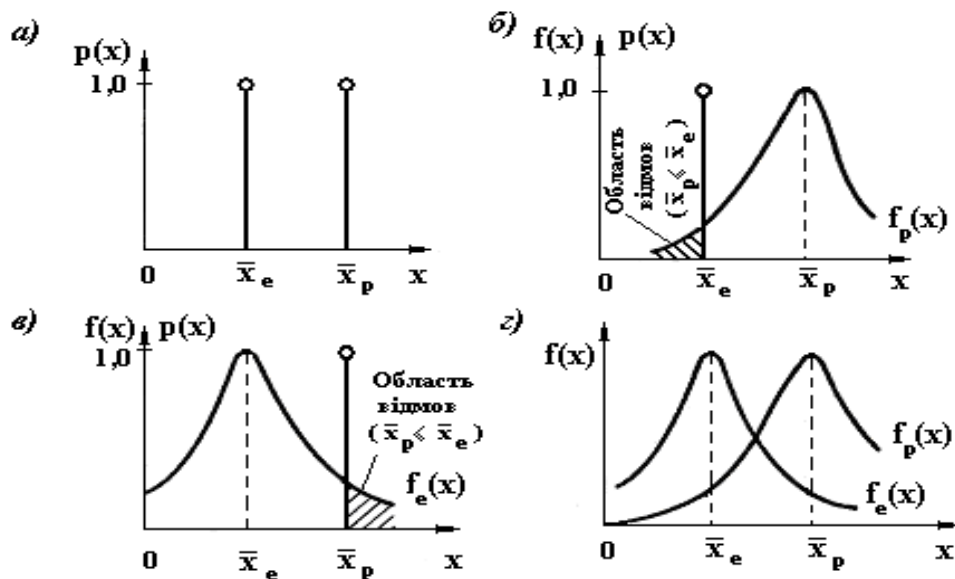


Рис. 5.12.1 – Співвідношення розподілу робочих властивостей об'єктів X_p і навантажень X_e :

а — робочі властивості і навантаження детерміновані і дорівнюють відповідно \bar{x}_e і \bar{x}_p ;

б — навантаження детерміноване і дорівнює \bar{x}_e , робочі властивості мають розподіл із щільністю імовірностей $f_p(x)$;

в — робочі властивості детерміновані і рівні \bar{x}_p , навантаження розподілено і має щільність імовірностей $f_e(x)$;

г — робочі властивості і навантаження випадкові і мають щільності імовірностей відповідно $f_p(x)$ і $f_e(x)$.

Якщо вважати X_p і X_e строго детермінованими (рис. 5.12.1, а)) і задатися їх значеннями $X_p = \bar{x}_p$ $X_e = \bar{x}_e$ за умови $\bar{x}_p > \bar{x}_e$, то імовірність відмови буде дорівнювати нулю, тобто

$$q_0 = P(X_p \leq X_e) = 0.$$

Припустимо, що навантаження об'єкта, який випробується в експлуатації, детерміноване $X_e = \bar{x}_e$, а робочі властивості X_p мають деякий розкид, тобто є

випадковими і розподілені із щільністю імовірності $f_p(x)$ (рис. 5.12.1,б). У цьому разі імовірність відмови виробу не дорівнює нулю і визначиться з вираження:

$$q_0 = P(X_p \leq X_e) = P(X_p \leq \overline{x_e}) = \int_0^{\overline{x_{ek}}} f_p(x) dx.$$

В окремому випадку, коли робочі властивості розподілені згідно з нормальним законом, імовірність відмови

$$q_0 = P(X_p \leq \overline{x_e}) = \frac{1}{2} \left[\Phi \left(\frac{1}{V_p \sqrt{2}} \right) - \Phi \left(\frac{K-1}{KV_p \sqrt{2}} \right) \right], \quad (5.12.1)$$

де $\Phi(t)$ визначається у довідкових таблицях.

У виразі (5.12.2) введені наступні позначення:

$V_p = \frac{\sigma_p}{\overline{x_p}}$ — коефіцієнт варіації;

$\overline{x_p}$ і σ_p — середнє значення і середнє квадратичне відхилення робочих властивостей відповідно;

$K = \frac{\overline{x_p}}{\overline{x_e}}$ - статистичний коефіцієнт запасу міцності.

Коефіцієнт запасу міцності визначається як добуток коефіцієнтів

$$N = n_1 n_2 n_3, \quad (5.12.2)$$

де n_1 — вірогідність визначення розрахункових навантажень і напружень ($n_1 = 1-1,5$);

n_2 - неоднорідність механічних властивостей матеріалів ($n_2 = 1,2-1,5$);

n_3 - специфічні вимоги безпеки ($n_3 = 1-1,5$).

У розглянутому випадку коефіцієнт K враховує можливий розкид властивостей елементів і за своїм змістом може бути прирівняний до коефіцієнта n_2 у формулі (5.12.2).

Якщо ж робочі властивості детерміновані ($X_p = \overline{x_p}$), а навантаження X_e випадкове (рис. 5.12.1, в)) і описується щільністю розподілу $f_e(x)$, то імовірність відмови

$$q_0 = P(\overline{X_p} \leq X_e) = \int_0^{\infty} f_e(x) dx. \quad (5.12.3)$$

При нормальному законі розподілу навантажень формула (5.12.3) має вигляд

$$2q_0 = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\frac{K-1}{V_p \sqrt{2}} \right) \right],$$

де $V_p = \frac{\sigma_e}{\overline{x_e}}$ — коефіцієнт варіації (тут $\overline{x_e}$ — середнє значення навантажень в експлуатації; σ_e — середнє квадратичне відхилення навантажень).

У даному разі коефіцієнт запасу K враховує можливий розкид навантажень і за своїм змістом аналогічний коефіцієнту n_1 у формулі (5.12.2).

Більш загальний, який часто зустрічається на практиці, випадок, коли і робочі властивості X_p , і навантаження X_e випадкові у певному діапазоні (рис. 5.12.1, г)). Умовою відмови буде нерівність

$$X_p \leq X_e \text{ чи } X_e - X_p = \Delta X \geq 0. \quad (5.12.4)$$

Розподіл випадкової величини ΔX може бути знайдений, коли відомі закони розподілу випадкових величин X_p і X_e , що входять у композицію. Якщо X_p і X_e розподілені нормально, то розподіл ΔX буде також нормальним з параметрами

$$\overline{\Delta X} = \overline{X_e} - \overline{X_p}; \quad \sigma_{\Delta} = \sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_p^2}.$$

Згідно з умовою (5.12.4) імовірність

$$q_0 = P(\Delta X > 0) = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\frac{K-1}{\sqrt{2(V_e^2 + KV_p^2)}} \right) \right]. \quad (5.12.5)$$

Таблиця 5.12.1

Варіант	Закон розподілу навантаження	Закон розподілу робочої властивості	Імовірність відмови
1	Детерміноване навантаження	Експоненціальний	$1 - \exp(-1/k)$
2	Детерміноване навантаження	Нормальний	$\frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\frac{K - 1}{KV_p \sqrt{2}} \right) \right]$
3	Експоненціальний Нормальний	Детермінована робоча властивість	$\frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\frac{K - 1}{V_p \sqrt{2}} \right) \right]$
4		Детермінована робоча властивість	
5	Експоненціальний	Експоненціальний	$1/(1+k)$
6	Експоненціальний	Нормальний	$\exp \left[-K \left(1 - \frac{1}{2} KV_p^2 \right) \right]$
7	Нормальний	Експоненціальний	$1 - \exp \left[-\frac{2K - V_e^2}{4 + 2\pi p^2 K^2} \right]$

Коефіцієнт запасу міцності K , що входить у вираз (5.12.5), враховує спільний вплив розкиду робочих властивостей і навантажень і має такий самий зміст, що і добуток $n_1 n_2$ у формулі (5.12.2). Для врахування специфічних умов роботи елементів замість введення n_e у формулу (5.12.2) досить накладати у виразі (5.12.5) відповідні обмеження на імовірність відмов q_0 .

Становлять інтерес різні комбінації законів розподілу навантаження в експлуатації і X_e і робочих властивостей X_p . Вирази для імовірності відмови q_0 при різних сполученнях розподілів навантажень і робочих властивостей, частково наведені в табл. 5.12.1. Аналіз отриманих формул показує, що збільшення коефіцієнта K зменшує, а більший розкид навантажень і робочих властивостей (тобто збільшення коефіцієнтів варіації V_e і V_p) збільшує імовірність відмови.

Отримані залежності імовірності відмови елементів від параметрів, що характеризують розподіл робочих властивостей і навантажень, дають

можливість вирішити наступні практичні завдання:

- оцінити безвідмовність елементів при відомих початкових характеристиках і умовах навантаження в експлуатації;
- визначити необхідний статистичний коефіцієнт запасу міцності при заданій безвідмовності;
- встановити припустимі межі навантажень в експлуатації.

Вплив відхилень робочих властивостей і навантажень на розподіл тривалості роботи до відмови

Випадкові відхилення початкових робочих параметрів об'єктів, їхньої зміни в процесі наростання наробітку, варіації експлуатаційних навантажень неминуче впливають і на розподіл тривалості роботи складових частин рухомого складу до відмови.

Якщо робочі властивості об'єктів незмінні протягом усього терміну служби, то розподіл тривалості їхньої роботи до відмови залежить від виду навантаження. При розрахунку на статистичну міцність пропонується класифікувати навантаження в такий спосіб: разові; багаторазові, дискретні в часі; безупинні, що змінюються за типами стаціонарних випадкових процесів. Для разових навантажень справедливі розрахункові формули, отримані у модулі 2 (тема 3). При багаторазовому навантаженні імовірність відмови

$$q(m) = 1 - (1 - q_0)^m,$$

де q_0 — імовірність відмови під час одного навантаження, яке визначене за формулою (5.12.3);

m — кількість навантажень, що виступають як оцінка тривалості роботи до відмови.

На підставі теореми про повторення дослідів при незмінних умовах розподілу числа перевищень навантаження над міцністю, тобто кількості відмов при m навантаженнях

$$F(m) = 1 - e^{-\lambda m}, \quad (5.12.6)$$

де λ — середня інтенсивність відмов, що залежить від розподілу навантажень і робочих властивостей.

Для випадку, коли зміна навантаження являє собою нормальний стаціонарний процес, розподіл напрацювання до відмови буде експоненціальним

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (5.12.7)$$

У формулах (5.12.6) і (5.12.7) середня інтенсивність відмов може бути визначена дослідним шляхом за середнім числом дискретних навантажень, що перевищують припустимий рівень або перетину цього рівня кривою навантаження $X_e(t)$ в одиницю часу [11].

У реальних умовах об'єкти з часом змінюють свої початкові робочі властивості внаслідок старіння, зношування. Інтенсивність цих процесів залежить від умов експлуатації і режимів роботи. При поступовій зміні робочих властивостей одна з характеристик моделей формування відмов заснована на використанні схеми «міцність — навантаження» і полягає в тому, що параметр, який характеризує міцність (механічну, електричну та ін.), у початковий момент $t=0$ має розподілу $f_p(x_p; 0)$ з математичним сподіванням \bar{x}_{p0} і середнім квадратичним відхиленням σ_{p0} . З часом ці характеристики розподілу змінюються за деяким законом $\bar{x}_p(t), \sigma_{xp}(t)$, залежним від протікання випадкового процесу $X_p(t)$. У результаті цього можливі зміни робочих властивостей обмежуються смугою з верхньою $x_{p,y}(t)$ і нижньою $x_{p,n}(t)$ границями, як показано на рис. 5.12.2.

Навантаження являє собою стаціонарний випадковий процес, що характеризується максимальними значеннями $X_{e,m}$, не змінюється з часом і має високу частоту прикладення.

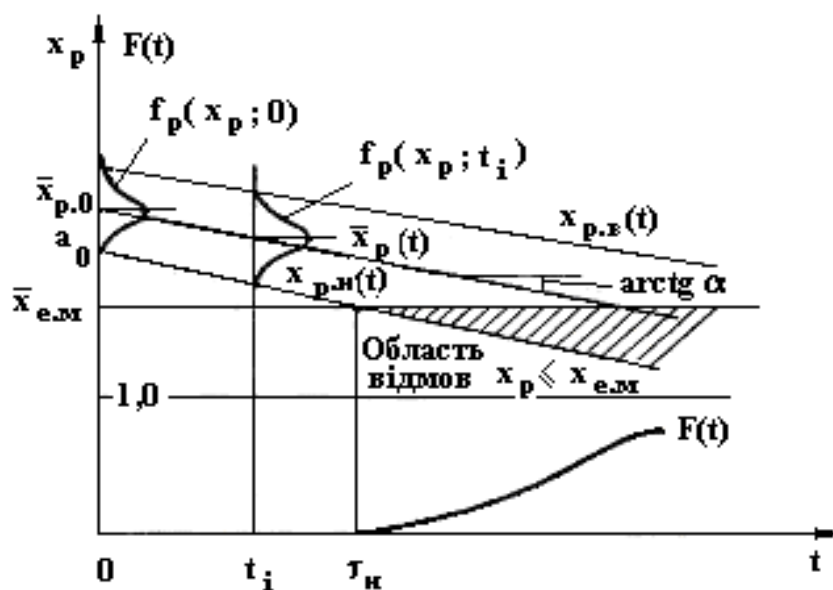


Рис. 5.12.2 – Схема формування відмов при стаціонарному випадковому процесі погіршення робочих властивостей

До розглянутої моделі подібна схема заснована на співвідношенні параметр - допуск. Тут у початковий момент робочий параметр має розподіл $f_p(x_p; 0)$ і знаходиться в полі допуску з нижньою межею δ_x . З часом, після t_0 за рахунок зміни математичного сподівання і середнього квадратичного відхилення за законами $\bar{X}_p(t)$ і $\sigma_{xp}(t)$ імовірність виходу параметра за межу поля допуску (тобто поступової відмови) зростає, що і визначає характер функції розподілу часу роботи до відмови $F(t)$.

Для обох випадків можна використовувати ту саму математичну модель формування закону розподілу часу роботи до відмови. Вид закону розподілу $F(t)$ і його числові параметри t_{cp} , σ визначаються розподілом $f_p(x_p; 0)$ навантажень $\bar{X}_p(t)$ (чи межею допуску δ_x), а також характером залежностей $\bar{X}_p(t)$ і $\sigma_{xp}(t)$. Загальним для всіх законів буде наявність порога чутливості t_0 , тобто напрацювання, до настання якого імовірність відмови практично дорівнює нулю.

Оскільки в розглянутих моделях робочі властивості змінюються в часі, можна вважати, що тут можуть бути враховані й умови експлуатації. Вплив умов експлуатації виявляється в характері залежностей $\bar{X}_p(t)$ і $\sigma_{xp}(t)$. Чим сильніше цей вплив, тим інтенсивніше змінюється робочий параметр \bar{X}_p . Коливання зовнішніх впливів збільшують розкид параметрів з ростом напрацювання, тобто величину σ_{xp} .

Практичне заняття 3 (до теми 12): визначення параметрів закону розподілу напрацювання до відмови за даними спостережень

Мета заняття: опанування методикою поводження зі статистичними даними про відмови.

Розглянемо приклад формування закону розподілу напрацювання до відмови для випадку, коли робоча властивість X_p лінійно змінюється при зростанні пробігу l , а дисперсія $D[X_p]$ практично залишається постійною. За статистичними даними встановлено, що вихідне ($l=L_0$) розподілу $f_p(x_{p0})$ робочого параметра - зазору «на мастило» у поршневій голівці компресора характеризується даними: вид закону розподілу - нормальний, параметри

закону - $a_0 = \bar{x}_p(t) = 0,205 \text{ мм}$, $\sigma = \sigma_{xp} = 0,033 \text{ мм}$. Випадковий процес зміни робочого параметра описується рівняннями

$$X_p(t) = \bar{x}_p(t) + \alpha_{xp} t = 0,205 + 0,051 \cdot 10^{-6},$$

де $\alpha_x = 0,51 \cdot 10^{-6} \text{ мм/км}$ - інтенсивність зміни \bar{x}_p .

Графічне зображення процесу наведене на рис. 5.12.3 Межі розкиду параметра: верхню - $X_{p.v}(l)$, нижню - $X_{p.n}(l)$ визначимо використовуючи правило 3σ , згідно з яким відхилення параметра, що спостерігається реально, укладається в $\bar{x} \pm 3\sigma$. Функції, що описують межі інтервалу, дорівнюють:

$$x_{p.n}(t) = \bar{x}_p(t) - 3\sigma_{x.p.o},$$

$$x_{p.v}(t) = \bar{x}_p(t) + 3\sigma_{x.p.o}.$$

Початкові точки меж: $X_{p.o.v} = 0,304 \text{ мм}$, $X_{p.o.n} = 0,196 \text{ мм}$.

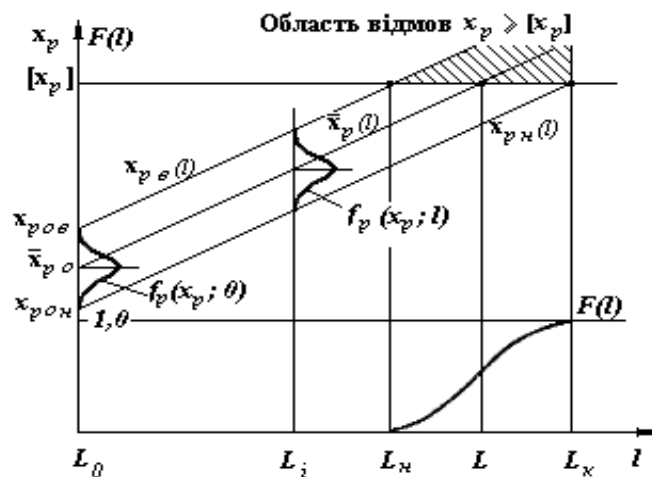


Рис. 5.12.3 – Схема формування розподілу напрацювання до відмови за умов стаціонарного випадкового процесу зміни робочого параметра

Якщо $[X_p] = \delta_x = 0,37 \text{ мм}$ — гранично припустимий в експлуатації зазор «на мастило», то з наведених співвідношень згідно з рис. 5.12.3 можна встановити, що середнє напрацювання до відмови дорівнює

$$\bar{L} = \frac{[X_p] - x_{p.o}}{\sigma_{x.p}} = \frac{0,37 - 0,205}{0,051 \cdot 10^{-6}} = 0,323 \cdot 10^6 \text{ км},$$

а поріг чутливості, тобто початковий пробіг, при якому імовірність досягнення граничного стану не рівна нулю,

$$L_H = \frac{[X_p] - x_{p.o.v}}{\sigma_{x,p}} = \frac{0,37 - 0,304}{0,051 \cdot 10^{-6}} = 0,129 \cdot 10^6 \text{ км.}$$

Середнє квадратичне відхилення пробігу до відмови

$$\sigma = \frac{\bar{L} - L_H}{3} = \frac{0,323 \cdot 10^6 - 0,129 \cdot 10^6}{3} = 0,065 \cdot 10^6 \text{ км.}$$

Закон розподілу напрацювання до відмови буде, як і $f_p(X_p; 0)$, нормальним з параметрами, знайденими у вигляді точкових оцінок $\bar{a} = L$, $\bar{\sigma} = \sigma_L$, і порогом чутливості L_H . Формула закону

$$f(t) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 0,055 \cdot 10^6} \exp \left[-\frac{(l - 0,323 \cdot 10^6)^2}{2(0,055 \cdot 10^6)^2} \right], & l \geq 0,129 \cdot 10^6 \\ 0, & l < 0,129 \cdot 10^6 \end{array} \right\}.$$

Таким чином, після приблизно 130 тис. км зазор у поршневій голівці компресора може перевищувати припустиме значення, причому найбільша імовірність виходу компресора з ладу з цієї причини спостерігатиметься за приблизного значення пробігу 323 тис. км.

Тема 13. Моделі відмов рухомого складу

Розподілу тривалості перебування у справності

При дослідженні надійності РС, системи його ремонту основним є метод статистичного аналізу випадкових величин. Більшість параметрів, що характеризують експлуатаційну роботу, ремонт, технічне обслуговування і надійність РС в результаті дії на них великого числа факторів, що мають випадковий характер, не є строго детермінованими, а мають розкид значень у певних діапазонах. Для їхнього повного опису потрібно знати не тільки середнє значення і ступінь розкиду, але і закон розподілу.

Найбільш важливою характеристикою, що впливає на надійність і систему ремонтів РС, є напрацювання або тривалість роботи до відмови його складових частин. При розробці моделей функціонування, оптимальних стратегій відновлення РС необхідне знання закону розподілу тривалості безвідмовної роботи елемента, що задається щільністю $f(t)$ чи функцією

розподілу $F(t)$. Для оцінки надійності елемента за статистичними даними, накопиченими у процесі експлуатації, використовується також розподіл тривалості його роботи до відмови. При цьому в першу чергу необхідно встановити тип закону розподілу, що найчастіше пов'язано з труднощами, викликаними малим обсягом статистичних даних і накладенням специфічних умов експлуатації і ремонту.

Відмова елемента викликається тим чи іншим фізичним процесом, що розвивається в часі або відбувається практично миттєво. Логічно припустити, що кожному виду такого процесу відповідає свій закон розподілу тривалості роботи до відмови. Виявлення і використання на практиці зв'язку між видом відмови та параметрами розподілу часто ускладнено через одночасну дію декількох фізичних факторів чи процесів, неточних даних про їхній характер. У результаті приймається не той закон розподілу, що відповідає фізиці відмов, який може призвести до неправильних висновків.

Наразі прийняті такі основні ідеалізовані схеми моделі відмов: миттєвих пошкоджень; пошкоджень, що накопичуються, і релаксації. Можлива й одночасна дія декількох незалежних причин відмов, що найбільш типово. Кожній схемі (моделі) відповідає цілком певний закон розподілу напрацювання до відмови. Мається на увазі і деяка узагальнена форма закону.

Очевидно, що будь-яке розподілу часу безвідмовної роботи може бути формально записано в наступному вигляді [15]:

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \int_0^t \varphi(t) dt \right]. \quad (5.13.1)$$

Це є інтегральна форма закону розподілу в загальному випадку. Маючи на увазі, що щільність розподілу $f(t) = F(t)/dt$, одержимо закон в диференціальній формі:

$$f(t) = \varphi(t) e^{- \int_0^t \varphi(t) dt}. \quad (5.13.2)$$

У виразі (5.13.2) функція $\varphi(t)$ має зміст інтенсивності відмов. Залежно від виду функції $\varphi(t)$, що визначається властивостями елементів і умовами експлуатації, згідно виразами (5.13.1) і (5.13.2) можна одержати той чи інший закон розподілу тривалості роботи до відмови.

Наведена узагальнена форма закону розподілу є основою для математичного опису імовірнісних характеристик ідеалізованих схем розвитку фізичних процесів виникнення відмов, тобто моделей відмов. В усіх цих схемах не враховуються розкид початкових робочих властивостей і рівнів

навантаження, які призводять до виробничих і експлуатаційних відмов, що і визначає ідеальність моделей. Незважаючи на це, слід розглянути такі моделі, оскільки при вказаних припущеннях вони досить добре можуть бути застосовані для характеристик процесів розвитку пошкоджень багатьох об'єктів.

Модель відмови з-за миттєвого пошкодження

Зміна технічного стану такого роду характеризується властивостями асимптотичної незалежності й стаціонарності. Властивість асимптотичної незалежності навантаження $S(t)$ має місце у тому випадку, якщо $S(t_2)$ не залежить від $S(t_1)$ при досить великій тривалості часу між моментами t_2 і t_1 , тобто при великій різниці $(t_2 - t_1)$, але $S(t_2)$ явно зв'язана з $S(t_1)$ при малих різницях $(t_2 - t_1)$. Це означає, що моменти «пікових» навантажень не можуть бути передбачені заздалегідь.

Якщо середній рівень навантаження S_{cp} не змінюється з часом і залишається постійним для всіх об'єктів, що знаходяться в експлуатації, то у цих умовах навантаження можливий випадок, коли навантаження в одному з «піків» перевищують припустимий рівень S_n і при $S(t=\tau) > S_n$ наступить відмова об'єкта. Очевидно, що час до першого перетинання τ буде величиною випадковою внаслідок зазначених властивостей асимптотичної незалежності і стаціонарності навантаження. У цьому випадку τ - це час безвідмовної роботи об'єкта, а розподілу цього часу в даному разі характеризується експоненціальним законом.

Дійсно, з вихідних положень незмінності властивостей виробу впливає, що в даному випадку функція $\varphi(t) = \text{const}$, тобто інтенсивність відмов не залежить від часу. Підставляючи $\varphi(t) = \lambda$ у формули (5.13.1), (5.13.2) загального вигляду закону, одержимо диференціальну й інтегральну форми експоненціального закону розподілу:

$$F(t) = 1 - \exp[-\lambda(t)],$$

$$f(t) = \lambda e^{-\int_0^t \lambda dt} = \lambda e^{-\lambda(t)}.$$

У табл. 5.13.1 наведені формули зв'язку математичного сподівання і дисперсії розподілу з параметром λ , а на рис. 5.13.1 і 5.13.2 представлені

графіки щільності імовірностей та інтегрального закону.

Модель миттєвих пошкоджень і отримані форми її математичного імовірнісного опису відповідають деяким ідеалізованим уявленням про умови експлуатації і властивості об'єктів. У теорії надійності [13] зазначені й інші, більш реальні схеми, що добре описуються законом експоненціального розподілу.

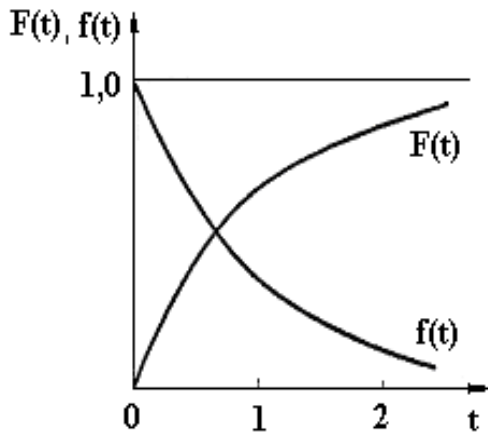


Рис. 5.13.1 – Графік

експоненціального закону розподілу
при $\lambda=1$

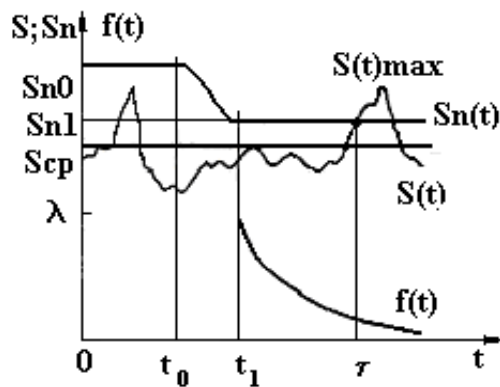


Рис. 5.13.2 – Модель миттєвого

пошкодження з порогом чутливості

Так, об'єкти можуть мати залежність $\varphi(t)=\lambda=\text{const}$ не протягом усього терміну служби, а протягом періоду часу після закінчення припрацювання t_1 до моменту початку процесу старіння t_2 . Якщо такі об'єкти встановлюють для експлуатації в деякій системі після припрацювання і використовують протягом часу (t_2-t_1) , тобто замінюють їх після напрацювання t_2 то час безвідмовної роботи таких об'єктів при експлуатації системи буде розподілений за експоненціальним законом. Разом з тим, закон розподілу напрацювання до відмови таких об'єктів, визначений за даними за повний термін їхньої служби, уже не буде експоненціальним.

У практиці експлуатації більш поширена ситуація, коли властивості об'єктів змінюються, тобто рівень припустимого навантаження S_n знижується в міру зростання t . Якщо таке зниження настає досить швидко після моменту $t_0 < M(\tau)$, то закон розподілу за формою змінюється.

Нехай первісні властивості навантаження такі, що в інтервалі $(0-t_0)$ навантаження $S_n=S_{n0} \gg S(t)_{\text{max}}$, тобто імовірність відмови в цьому інтервалі досить мала. Після моменту t_0 за малий інтервал (t_0-t_1) властивості

навантаження погіршуються до рівня $S_n=S_{n1}$, при якому стає відчутна імовірність пошкодження об'єктів піками $S(t)_{max}$, як показано на рис. 5.13.2.

Закон розподілу, що відповідає такій моделі, можна записати у вигляді

$$f(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda(t-t_1)}, & t \geq t_1 \\ 0, & t < t_1 \end{cases}.$$

Розподілу буде двопараметричним (λ, t_1) , вигляд кривої щільності імовірностей показаний на рис. 5.13.2. Цей закон називається експоненціальним з порогом чутливості, оскільки параметр t_1 характеризує деякий «порог», до якого об'єкт «не відчуває» навантаження.

У теорії надійності також зазначається, що експоненціальне розподілу є граничною статистичною моделлю часу безвідмовної роботи системи з великим числом послідовно з'єднаних у структурній схемі надійності елементів. Кожний з елементів не повинен істотно впливати на імовірність відмови системи і не обов'язково повинен мати експоненціальне розподілу часу безвідмовної роботи.

Розглянуті моделі характерні для конструкційних відмов, коли можна припустити, що всі зразки досить однорідні за своїми властивостями. Порушення технології виготовлення в більшості випадків погіршує якість окремих об'єктів або їх окремих груп. Очевидно, що інтенсивність відмов кожної з груп, які утворилися, буде різною: виготовлених за нормальною технологією λ_1 , коли частка їх у загальній масі ε , а виготовлених з порушеннями технології λ_2 при $(1-\varepsilon)$.

Щільність розподілу часу безвідмовної роботи для всіх об'єктів буде визначатися формулою $f(t) = \varepsilon \lambda_1 e^{-\lambda_1 t} + (1-\varepsilon) \lambda_2 e^{-\lambda_2 t}$, виведеною на підставі зазначених припущень і оцінки імовірності відмов груп.

Моделі відмов з-за пошкоджень, що накопичуються

У вихідних положеннях цієї моделі основне місце займає зношування, оскільки всі елементи реально існуючих систем зазнають протягом періоду експлуатації необоротних змін

Спільним для всіх цих випадків є те, що на відміну від миттєвих пошкоджень, що приводять до закону експоненціального розподілу при $\varphi(t) = \lambda = const$, інтенсивність відмов від зношування не залишається постійною в часі. Вид реалізації зношування окремих елементів не визначає найпростішим чином виду залежності $\varphi(t)$, оскільки інтенсивність відмов виражає в кінцевому

результаті ймовірності зв'язку всього процесу роботи всіх об'єктів. Але в цілому функція $\varphi(t)$, безумовно, залежить від класу реалізації зношування, властивого тим чи іншим об'єктам.

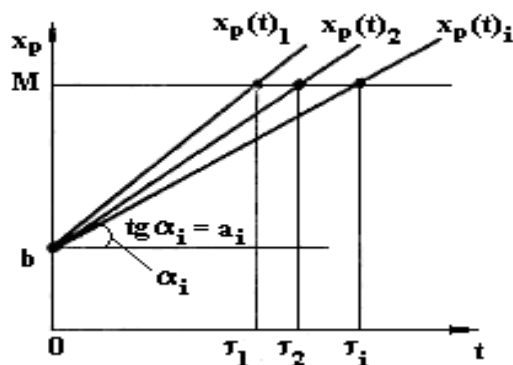


Рис. 5.13.3 – Лінійні реалізації зношування, що характеризують властивості розподілень

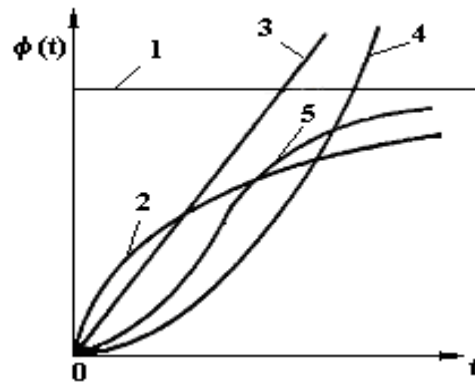


Рис. 5.13.4 – Види функцій інтенсивності відмов для різних законів розподілу

Згідно з формулами (5.13.1) та (5.13.2), задаючи тим чи іншим виглядом функції $\varphi(t)$, можна одержати математичні вирази законів розподілу часу безвідмовної роботи для різних випадків зношування. Зміни інтенсивності відмов для найбільш характерних моделей наведені на рис. 5.13.4, а формули $\varphi(t)$ і відповідні закони – у табл. 5.13.1

Таблиця 5.13.1

Інтенсивність відмов згідно з рис. 5.13.5	Функція $\varphi(t)$	Тип закону розподілу
1	$\lambda = \text{const}$	Експоненціальний
2	$\frac{\lambda^2 t}{1 + \lambda t}$	Ерланга
3	λt	Релея
4	λt^r	Вейбулла-Гнеденко при $\lambda > 1, r > 0$
5	$\frac{\lambda^r t^{r-1}}{\sum_{k=0}^{r-1} \frac{r-1}{k!} (\lambda t^k)}$	Гамма-розподіл (k -ціле число)

Якщо інтенсивність збільшується пропорційно часу, тобто $\varphi(t) = \lambda t$, то розподілу напрацювання до відмови в таких об'єктів описується законом Релея. Зношування об'єктів посилюється в міру наростання напрацювання.

Коли інтенсивність відмов елементів зростає з часом, але є деяка межа, то виходить закон розподілу Ерланга.

Якщо інтенсивність відмов пов'язана з напрацюванням нелінійно за деякою ступеневою залежністю, то має місце закон розподілу напрацювання до відмови в більш загальному вигляді - закон Вейбулла-Гнеденка (див. табл. 5.13.1), з якого при $r=1$ можна одержати закон Релея, $r=0$ — експоненціальний закон. Коли $r<0$, функція інтенсивності відмов виявляється спадною. У теорії надійності цей закон застосовується досить часто, тому що може бути використаний для опису розподілу часу безвідмовної роботи багатьох реальних систем. Особливістю таких систем є наявність великого числа однакових чи близьких за конструкцією елементів, що знаходяться в однакових умовах експлуатації. Відмова кожного з цих елементів призводить до відмови системи. Закон розподілу Вейбулла-Гнеденка добре описує розподіл часу безвідмовної роботи багатьох елементів радіоелектронної апаратури, кулькових підшипників, релейних систем [11, 13].

Схему пошкоджень, що накопичуються, описують гамма-розподілом часу безвідмовної роботи:

$$f(t) = \begin{cases} \frac{1}{\Gamma(r)} \lambda^r t^{r-1} e^{-\lambda t}, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases},$$

де r і λ — параметри розподілу;

$\Gamma(r)$ — гамма-функція, значення якої надаються в математичних таблицях (Гамма-функція $\Gamma(r) = \int_0^\infty x^{r-1} e^{-x} dx$; $\Gamma(r) = (r-1)!$ при цілих r).

Інтенсивність відмов для гамма-розподілу - монотонно зростаюча функція, що має деяку межу (див. рис. 5.13.4 і табл. 5.13.1). Вид функції щільності імовірності (несиметрична крива) наведений на рис. 5.13.5.

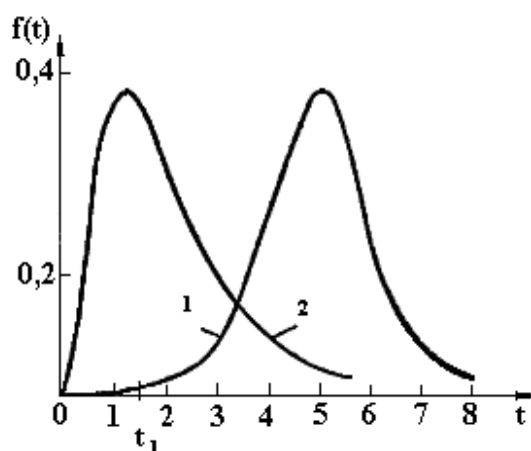


Рис. 5.13.5 – Щільності імовірностей нормального закону (1) ($a=5$, $\sigma=1$) і гамма-розподілу (2) ($r=3$, $\lambda=3$)

Збільшення параметра λ гамма-розподілу розташовує симетрично графік його щільності імовірності відносно ординати, що проходить через математичне сподівання $M[t]=a$. Диференціальний закон розподілу наближається до вигляду

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sqrt{\frac{r}{\lambda^2}}} e^{-\frac{\left(r - \frac{r}{\lambda}\right)^2}{2\frac{r}{\lambda^2}}}.$$

У загальному вигляді це формула відомого закону нормального розподілу:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{(r-\sigma)^2}{2\sigma^2}},$$

який широко використовується при аналізі випадкових величин і в теорії ймовірностей. Теоретична крива щільності нормального розподілу має відгалуження, що симетрично розходяться від $t=a$ до $t=+\infty$ і $t=-\infty$. Оскільки в теорії надійності $t>0$, то застосування закону нормального розподілу доцільне в тих випадках, коли імовірність негативних значень буде нескінченно малою і не знизить точність розрахунків, тобто

$$P(t < 0) = \int_{-\infty}^0 f(t) dt \cong 0.$$

Це можливо при $a/\sigma \geq 3,5$ або $r \geq 12$.

Нормальний закон описує модель пошкоджень, що накопичуються, при однорідній якості об'єктів, сталості середньої швидкості зношування і «переплетенні» реалізації зношення.

Інтенсивність відмов при нормальному розподіленні - зростаюча функція. Значення інтенсивності відмов і щільності імовірностей при $a/\sigma \geq 3,5$ дуже малі на досить великому інтервалі $(0-t_1)$. Імовірність відмови в цьому інтервалі також мала (див. рис. 5.13.5), що свідчить про важливість профілактичних заходів (замін, ремонтів) на невеликих рівнях зношування (порівняйте з експоненціальним законом).

З інших моделей відмов з-за зношування доцільно зупинитися на схемі, що описується логарифмічно-нормальним розподілом. Щільність розподілу

дорівнює

$$f(t) = \begin{cases} \frac{M}{t\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t(\lg t - \sigma_y)^2}{2\sigma_y^2}}, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases},$$

де $M = lge = 0,4343$; $y = \lg t$.

Інтенсивність відмов такого розподілу виражається складною функцією і характерна тим, що при малих t після зростання спостерігається її максимум при $t=0$, а при $t>0$ - зниження.

Падіння інтенсивності відмов пояснюється тим, що до часу $t=0$ «гинуть» екземпляри з високою швидкістю зношування, а зношування тих, що залишилися в роботі, наростає повільніше. У цілому така поведінка всієї системи виражає її здатність «пристосовуватися» до умов навантаження, тобто система має властивість тренування або припрацювання. Відомо, що накатка шийок валів і осей, поверхні колекторів збільшує їхню здатність протистояти зношуванню, тобто відбувається їхнє зміцнення. Процес зміцнення є теж своєрідним тренуванням матеріалу, коли за рахунок первісних деформацій зменшується зношення у наступній експлуатації. Подібні процеси можуть відбуватися і з об'єктами, тобто зменшення швидкості наростання зношення об'єктів системи можливе не обов'язково за рахунок «загибелі» слабких, а саме за рахунок поліпшення властивостей у процесі припрацювання.

Розглянуті моделі не охоплюють усіх різновидів можливих схем розвитку процесів, відмов. Можна вказати на такі важливі види, як релаксаційні моделі, накладання різних моделей, що приводять до суперпозиції розподілень. Математичні вирази і фізичні обґрунтування цих моделей більш складні, ніж у розглянутих випадках. Крім моделей, що приводять до безперервних розподілень, є ряд схем, що дають розподілу дискретних випадкових величин (див. табл. 5.13.1).

Очевидно, що існує можливість визначення причини відмови, якщо вдається за експлуатаційними даними встановити вид закону розподілу. Але розглянуті ідеалізовані схеми в «чистому» вигляді зустрічаються, на жаль, рідко, а при недостатності вихідних даних можна зробити неправильні висновки і прийняти неправильну стратегію ремонтного обслуговування. Наприклад, логарифмічно-нормальне розподілу, і розподілу Вейбулла-Гнеденка в ряді випадків можуть з достатньою точністю описати деяке емпіричне

розподілу. Якщо прийняти логарифмічно-нормальний закон, то з нього випливає висновок щодо нераціональності профілактичних заходів після деякого напрацювання, оскільки інтенсивність далі повинна спадати. Якщо ж реальна модель відповідає закону Вейбулла-Гнеденка, то зроблений висновок буде суперечити дійсній необхідності проведення профілактичних заходів, оскільки інтенсивність відмов виявиться зростаючою.

Практичне заняття 4 (до теми 13): моделі незалежних повторюваних випробувань

Мета заняття: отримання уявлень щодо способів оцінки якості масової продукції.

Нехай на вагоноремонтному заводі випускаються певні вироби, що відвантажуються замовникам великими партіями. Відпускна ціна одиниці виробу мала настільки, що перевіряти кожну з них в процесі виготовлення засобами технічного контролю не вигідно, тому відділ технічного контролю здійснює тільки прикінцевий приймальний контроль партій цих виробів.

Приймальний контроль полягає у ретельному обстеженні кількох навмання вибраних з даної партії виробів, і якщо серед них кількість виробів з браком перевищить певне значення x , то партія бракується в цілому. Очевидно, тут повинно приймати до уваги як кількість навмання вибраних з партії виробів n , так і частоту (імовірність) виявлення браку p .

Така процедура має назву випробувань Бернуллі, що мають так зване біноміальне розподілу. При цьому вважається, що дефектні вироби розподілені у партії за законом сполучень C_n^i .

Наприклад, у процесі виготовлення виробів імовірність випуску дефектної продукції складає $p=9\%$. Продукція приймається великими партіями, з яких випадково для контролю вибирають $n=20$ деталей. Партію приймають, якщо у вибраній кількості не більше двох дефектних деталей.

Очевидно, що потреба у визначенні імовірності приймання партії є цілком реальною, бо треба планувати роботу транспорту для вивозу продукції, мати уявлення про рівень дотримання технологічної дисципліни, усвідомлювати загрозу штрафних санкцій за випуск недоброякісної продукції, приймати рішення щодо ремонту технологічного обладнання, якщо відсоток браку стане неприпустимо великим тощо.

Отже у даному прикладі:

$x=2, n=20, p=0,09$, і за формулою з табл. 5.13.1 маємо:

$$P(x \leq 2) = F(x=2, p=0,09; n=20) = \\ = \sum_{i=1}^n C_n^i p^i (1-p)^{n-i} = \sum_{i=1}^2 C_2^i 0,09^i (1-0,09)^{2-i} = 0,738.$$

Різновидом цього прикладу є використання розподілу Пуассона для статистичної моделі, в якій події відбуваються незалежно одна від одної з деякою постійною інтенсивністю. Розподілу Пуассона дозволяє знайти імовірність появи заданого числа подій у рівні проміжки часу або простору. Такий вид розподілу мають, наприклад, повторні обточування колекторів і круговий вогонь на колекторах тягових двигунів за деякий період експлуатації.

Тема 14. Визначення параметрів моделей

Методи визначення закону розподілу відмов

При дослідженні надійності РС та його складових частин, вузлів виникає необхідність визначення виду і формули закону розподілу тривалості роботи (напрацювання) до відмови за статистичними даними. Маючи ці дані, можна визначити теоретичний закон розподілу пробігу до відмови, який найбільш точно відповідатиме зібраним статистичним даним. Для цього [11, 13, 19] використовують кілька способів визначення виду законів розподілу і розрахунку оцінок їхніх параметрів на підставі даних про відмови:

- метод моментів;
- метод поділяючих розбивок;
- графічний метод (із застосуванням імовірнісних паперів) та ін.

Метод моментів застосовується у випадку, якщо відомі реалізації l_1, l_2, \dots, l_n напрацювання до відмови n зразків. Розташувавши їх у порядку зростання, одержують варіаційний ряд. Далі діапазон пробігів $l_n - l_1$ поділяють на k інтервалів Δl (бажано однакової величини), де

$$\Delta l \cong \frac{l_n - l_1}{1 + 3,3 \lg n}.$$

Підраховують кількість випадків потрапляння пробігу до відмови m у кожний інтервал. Для полегшення розрахунків доцільно ввести умовну одиницю пробігу $x_i = l_i / \Delta l$ (l_i — значення l для середини i -го інтервалу).

За формулою $W(x_i)=m_i/n$ визначають частку відмов у кожному інтервалі пробігу $\Delta x=l$. Побудувавши багатокутник розподілу або гістограму часток, а формою якої можна висунути гіпотезу про те, який з відомих теоретичних законів розподілу ближче всього за формою підходить до емпіричних даних.

Параметри, що входять в аналітичний вираз закону розподілу, визначають шляхом прирівнювання моментів теоретичного розподілу відповідних моментів статистичного розподілу. Для однопараметричних законів (експоненціальний, Ерланга, Релея) прирівнюють математичне сподівання; для двопараметричних законів (нормальний, логарифмічно-нормальний, Вейбулла-Гнеденка, гамма-розподілу та ін.), крім цього, прирівнюють дисперсії або середньоквадратичне відхилення.

З отриманих у такий спосіб рівнянь знаходять оцінки невідомих параметрів, які передбачаються законом розподілу. Ступінь відповідності теоретичного закону розподілу статистичному розподіленню перевіряють за допомогою критеріїв погодження (Колмогорова, Пірсона та ін.).

Метод поділяючих розбивок [17-19] зручно застосовувати в тих випадках, коли n елементів, включених у роботу, піддаються перевірці через деякий пробіг L_n (наприклад, до планового ремонту). Коли виявляється, що за цей пробіг стали несправними m_1 елементів, то відношення m_1/n є функція розподілу $F(l=L_n)$. Для двохпараметричного закону розподілу необхідно ще знати число m_2 елементів, що відмовили, за пробіг $2L_n$. Значення функції розподілу обчислюють за формулами

$$\left. \begin{aligned} F(L_n) &= m_1/n \\ F(2L_n) &= \frac{m_1}{n} + \frac{m_2}{n-m_1} \left(1 - \frac{m_1}{n} \right) \end{aligned} \right\}. \quad (5.14.1)$$

Дорівнюючи вираження функції теоретичного розподілу для $l=L_n$ та $l_2=2L_n$ відповідно значенням, обчисленим за формулою (5.14.1), можна визначити параметри закону розподілу. Цей метод застосовується в тих випадках, коли заздалегідь відомий вид закону розподілу.

У разі поступових відмов (при зношуванні, старінні) закон розподілу пробігу до моменту досягнення граничного стану може бути визначений за даними про реалізацію зношування за час збільшення пробігу. У цьому випадку збирають статистичні дані про зношування через рівні інтервали пробігу і шляхом їхньої обробки визначають параметри гамма-розподілу.

Графічні методи визначення закону розподілу і його параметрів, як правило, припускають застосування так званого імовірнісного паперу [17, 18]. Імовірнісні папери розробляють для кожного виду закону розподілу, вони являють собою координатну сітку з особливими масштабами обох осей, що забезпечують випрямлення графіка функції розподілу випадкової величини в пряму лінію.

Нормальний розподіл

Перейдемо до оцінок параметрів нормального закону, виражених в одиницях напрацювання, використовуючи рівняння (4.11.1, 4.11.2):

$$a = 450 \cdot 10^3 + 100 \cdot 10^3 \cdot 0,31 = 481 \cdot 10^3 \text{ км};$$

$$\sigma = \sigma_x \Delta l = 1.925 \cdot 100 \cdot 10^3 = 192,5 \cdot 10^3 \text{ км}.$$

Отже теоретична функція нормального закону розподілу в диференціальній формі може бути виражена наступною формулою (див. табл. 4.9.1):

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot 192,5 \cdot 10^3} \exp \left[-\frac{(l - 481 \cdot 10^3)^2}{2(192,5 \cdot 10^3)^2} \right]. \quad (5.14.2)$$

Визначимо довірчі інтервали отриманих оцінок параметрів для довірчої імовірності $\beta = 0,95$.

Довірчі межі оцінки a знайдемо з формул, що наведені у роботі [14], на підставі використання закону розподілу Ст'юдента:

$$\text{нижня} - a_n = a - t_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}};$$

$$\text{верхня} - a_6 = a + t_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

де t_α визначається з табл. 3.3 роботи [14] залежно від $\alpha = \beta = 0,95$ при $k = n - 1 = 200 - 1 = 199$. Маємо $t_\alpha = 1,972$; $a_n = 454,15 \cdot 10^3 \text{ км}$; $a_6 = 507,84 \cdot 10^3 \text{ км}$. Відносна помилка оцінки для параметра a за формулою

$$\delta = (a_6 - a) / a = 10^3 \cdot (507684 - 481) / (481 \cdot 10^3) = 0,06,$$

що цілком припустимо.

Довірчі межі для σ знайдемо з формул роботи [15]:

$$\text{нижня} - \sigma_n = K_1 \sigma;$$

$$\text{верхня} - \sigma_y = K_2 \sigma,$$

де K_1 і K_2 - коефіцієнти, визначені згідно з табл. 3.3 роботи [14] також при $\alpha=\beta=0,95$ і $n-1=199$. На підставі цього маємо $K_1=0,897$ і $K_2=1,13$.

Тоді:

$$\sigma_n = 172,6 \cdot 10^3 \text{ км};$$

$$\sigma_y = 21765 \cdot 10^3 \text{ км}.$$

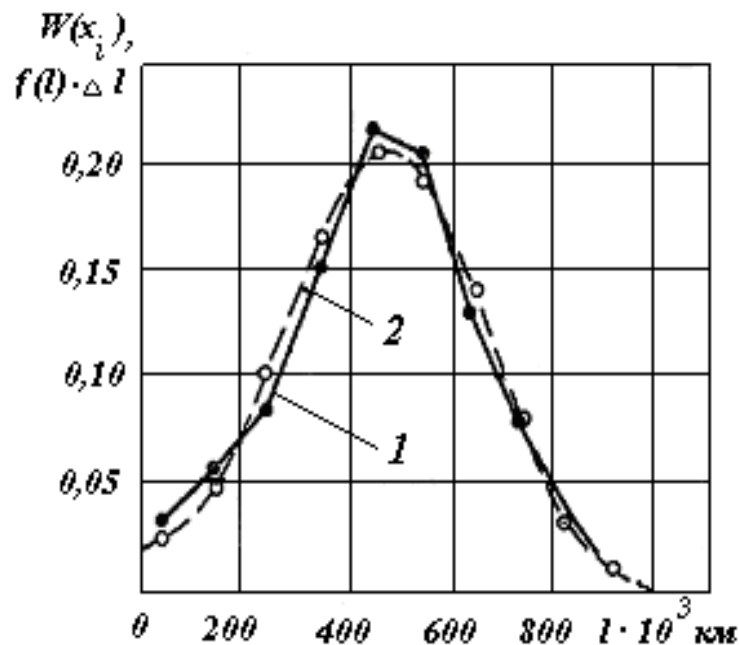


Рис. 5.14.1 – Полігон емпіричного (1) і щільність імовірностей (2) теоретичного розподілів

За формулою закону розподілу (5.14.2), використовуючи статистичні таблиці [14, 15, 17], можна побудувати графік щільності імовірностей $f(l)$. При цьому для можливості порівняння полігону $W(x_i)$ і графіка $f(l)$ значення щільності імовірностей, розраховані з формули (5.14.2), помножені на Δl , а величини x_i і l по осі абсцис узгоджені згідно з табл. 3.3.

Порівняння $W(x_i)$ і графіка $f(l)$ на рис. 5.14.1 показує, що теоретична крива задовільно відображає дані спостережень. Для того, щоб більш впевнено вважати, що статистичні вибіркові дані свідчать про нормальний розподіл

напрацювання до відмови, користуються критеріями погодження, відомості про застосування яких будуть наведені далі.

Крім того, для оцінки асиметрії розподілу щодо його моди і характеристики більшої чи меншої гостровершинності порівнюють фактичні показники асиметрії і ексцесу з теоретичними. Для цього використовують центральні моменти третього і четвертого порядку [14].

Нарешті, слід підкреслити, що наведені формули і методика розрахунків застосовуються тільки для випадку, коли відомі напрацювання до відмови всіх n членів випадкової вибірки. Якщо ж в експлуатації взяті відомості тільки з напрацювання n_x елементів, що відмовили, тоді як інші $n - n_x$, продовжують працювати, то отримані згідно з формулами методу моментів оцінки будуть помилковими. У цьому разі варто застосовувати формули для усіченої або не цілком визначеної вибірки, що наводяться в довідковій літературі [17, 18].

Проілюструємо застосування графічного методу на прикладі визначення параметрів закону розподілу Вейбулла-Гнеденка за допомогою спеціального імовірнісного паперу [17]. Формула щільності імовірностей цього закону наведена в табл. 4.9.1. Вид формули цілком визначається, коли відомі параметри a і b .

Для цього закону встановлено, що коли по осі ординат відкласти значення $lg/\ln P(l)$, а по осі абсцис lgl , то залежність $P(l)$ матиме вигляд прямої лінії, нахиленої до осі абсцис під кутом φ , причому $tg \varphi = b$. Для визначення a_e користаються співвідношеннями для імовірності безвідмовної роботи $P(l)$ і отриманими при $l=a_e$:

$$P(l = a_e) = \exp \left[- \left(\frac{l}{a_e} \right)^b \right] = e^{-1} = 0,368.$$

Оскільки шкала за осі ординат спадна в міру збільшення $P(l)$, зручніше проградувати її по імовірності відмови $Q(l) = 1 - P(l)$, тоді параметр a_e можна знайти при

$$Q(a) = 1 - P(a_e) = 0,632.$$

На підставі викладеного пропонується наступний порядок графічного визначення закону розподілу тривалості роботи до відмови і оцінок його

параметрів.

Зібрані дані про напрацювання до відмови при роботі зразків елементів розташовують у порядку зростання напрацювання у варіаційний ряд $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$. Очевидно, відмова кожного із зразків елементів відповідає збільшенню імовірності відмови $Q(l)$ чи зменшенню імовірності безвідмовної роботи $P(l)$ на величину $1/n$. Відмові i -го зразка відповідатиме імовірність відмови

$$Q_i(l_i) = 1/n.$$

Далі, як показано на рис. 5.14.2, в осях $lg/\ln P(l)$, $lg l$, проградуйованих як $Q(l)$; l , наносять точки з координатами l_i та $Q_i(l_i)$, що апроксимується прямою лінією. По φ - куту нахилу отриманої прямої, визначають параметр закону розподілу $b = lg \varphi$. Точка перетину апроксимуючої прямої з лінією $Q(l) = 0,632$ дає значення $l = a_e$

Викладений метод дозволяє визначити параметри закону розподілу і у випадку, коли не всі з n зразків досягли відмови. Це може значно скоротити час, необхідний для збору інформації.

Розглянемо сутність методу аналізу реалізації зношування на прикладі встановлення формули закону розподілу напрацювання до заміни щіток тягових двигунів через причину досягнення граничного зносу. Прийmemo, що при поступовому зношуванні маємо гамма-розподілу.

При спостереженнях заміряли Δh_{ij} — знос i -ї щітки за j -й інтервал напрацювання між спостереженнями. Як інтервал напрацювання взятий пробіг між черговими технічними обслуговуваннями ТО-2. Інтервал змінювався незначно (не більш 10%) у процесі дослідів і склав у середньому $\Delta l = 6,52 \cdot 10^3$ км. Обсяг контрольної партії щіток $n = 30$, число вимірів зносу кожної щітки (інтервалів) $k = 8$, тобто $1 \leq i \leq 30$; $1 \leq j \leq 8$.

За даними вимірів визначені:

Δh_i — середнє збільшення зносу за один інтервал пробігу i -ї щітки:

$$\Delta h_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \Delta h_{ij}$$

Δh — середнє збільшення зносу за інтервал для всіх зразків:

$$\Delta h = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta h_i$$

За результатами розрахунків одержимо $\Delta h = 0,95$ мм.

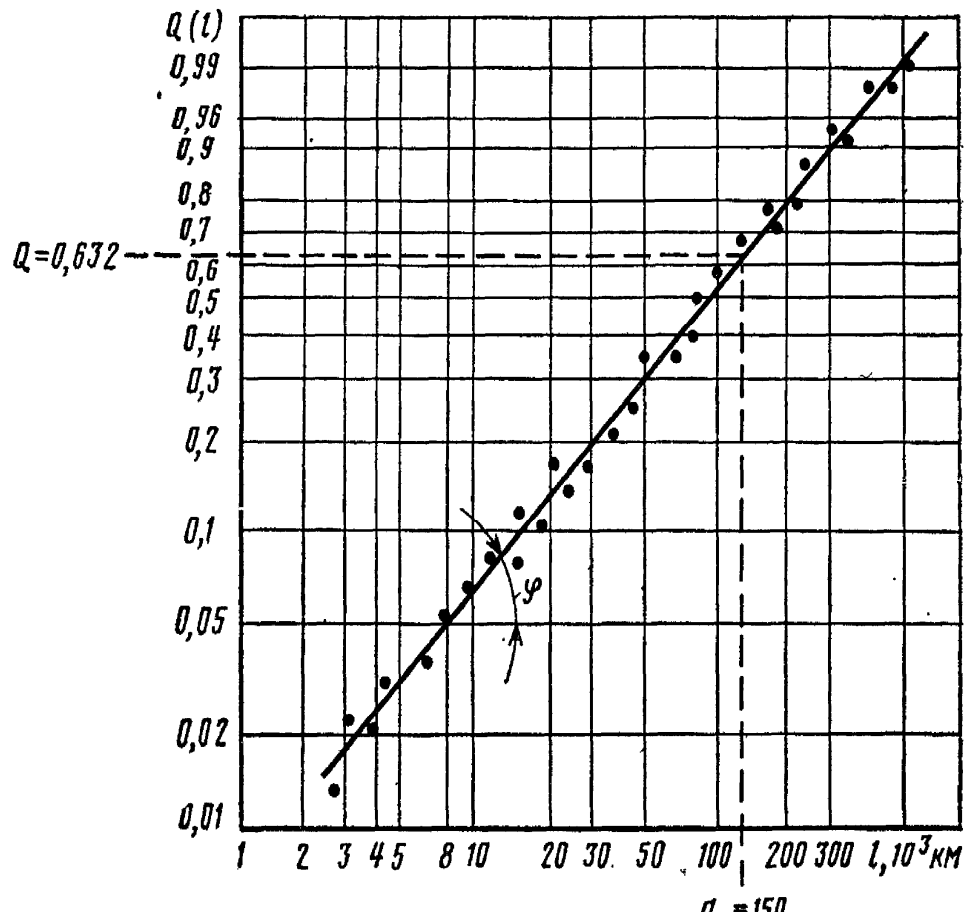


Рис. 5.14.2 – Графічне визначення параметрів закону розподілу Вейбула-Гнєденка

Далі на підставі отриманих для кожного i -го зразка розраховані дисперсії, за якими знайдена загальна дисперсія для всіх зразків [17]:

$$S^2 = \frac{k-1}{k} \sum_{i=1}^n S_i^2 + \frac{k}{k-1} \sum_{i=1}^n (\Delta h_i - \Delta h)^2.$$

Отримано $S^2 = 0,214 \text{ мм}^2$. Величина елементарного стрибка зносу

$$y = S^2 / \Delta h = 0,214 / 0,95 = 0,225 \text{ мм}.$$

Згідно з припустимим зносом $h = 30 \text{ мм}$ для цього типу щіток визначимо число елементарних стрибків зносу:

$$r = h / y = 30 / 0,225 = 133,$$

де r — оцінка одного з параметрів закону гамма-розподілу. Оцінку другого параметра λ знайдемо з рівняння, що наведено в роботі [17]:

$$1/\lambda = \Delta t \cdot S^2 / \Delta h = 6,52 \cdot 10^2 (0,214 / 0,95^2) = 1546 \text{ км}.$$

Отриманий великий параметр $r > 12$ свідчить про доцільність використання закону нормального розподілу замість незручного для розрахунків гамма-розподілу. Оцінку параметрів нормального закону a та σ знайдемо за параметрами r і λ і табл. 4.9.1:

– середнє напрацювання щітки до відмови:

$$a = L_{cp} = r(1/\lambda) = 133 \cdot 1546 = 205,6 \cdot 10^3 \text{ км};$$

– середнє квадратичне відхилення $\sigma = \sqrt{r} \frac{1}{\lambda} = \sqrt{133} \cdot 1546 = 17,83 \cdot 10^3 \text{ км}$

– коефіцієнт варіації $V = \sigma/a = 17,83 \cdot 10^3 / 205,6 \cdot 10^3 = 0,087$;

– середня швидкість зносу $C = y/\lambda = 0,225(1/1546) = 0,146 \text{ мм}/(10^3 \text{ км})$.

Формула закону розподілу в диференціальній формі (у тис. км):

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} 17,83} \exp \left[-\frac{(t - 205,6)^2}{2 \cdot 17,83^2} \right].$$

При виконанні аналізу впливу зносу необхідно переконатися в тому, що наявні вихідні дані (у даному разі набір Δh_{ij}) не суперечать припущенню про однорідність початкової якості об'єктів. Для цієї мети використовують спеціальні критерії для перевірки гіпотез про рівність дисперсій (критерій Бартлетта [14]) і істотності розбіжності середніх (за величиною F -критерію), порядок використання яких наведений у роботі [17].

Характерною рисою складальних одиниць РС є те, що їхні відмови можуть викликатися не однією, а декількома одночасно діючими причинами. Залежно від того, який з процесів розвивається інтенсивніше, відбудеться відмова того чи іншого виду. У такій ситуації сумарне j розподілу тривалості роботи до відмовлення об'єктів являє собою суміш, суперпозицію.

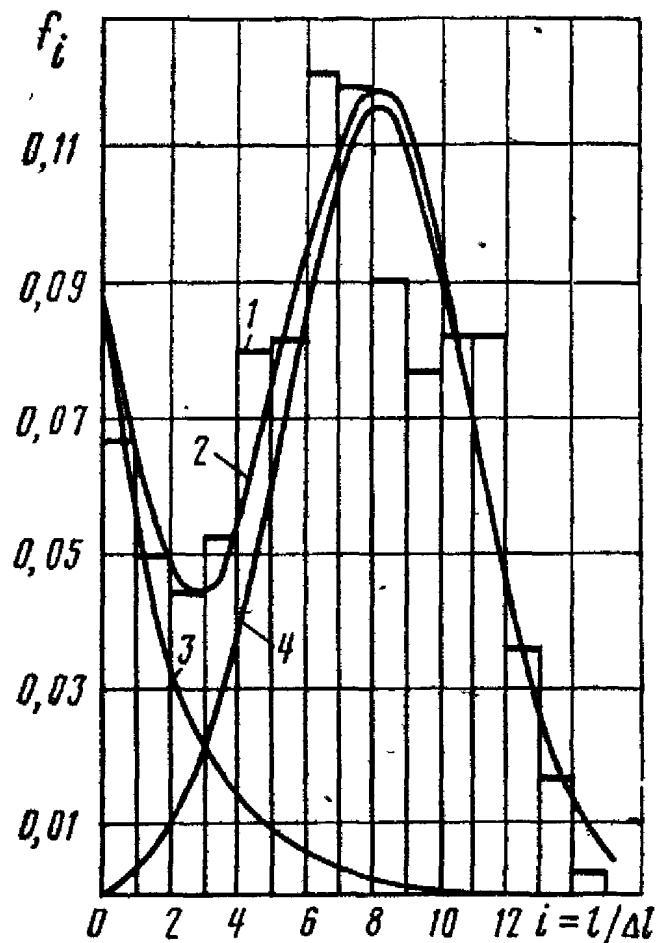


Рис. 5.14.3 – Гістограма (1) і суперпозиція (2), експоненціального (3) і нормального (4) законів розподілу напрацювання тягового двигуна до відмови ($\Delta l = 100 \cdot 10^3$ км)

Обробка статистичних даних про тривалість роботи до відмови багатьох вузлів РС, особливо тягових електродвигунів (ТЕД) показала, що для них має місце суперпозиція нормального й експоненціального законів. Ізоляція тягових двигунів може бути пошкоджена внаслідок впливу піків перенапруг, старіння, зволоження, механічних пошкоджень і нагрівання. На рис. 5.14.3 показана гістограма-розподілу пробігу до відмови ТЕД, що підтверджує наявність саме такої суперпозиції. У цьому разі щільність розподілу описується формулою

$$f(l) = C_1 f_1(l) + C_2 f_2(l), \quad (5.14.3)$$

де: C_1 , C_2 — частки відмов, розподілених за експоненціальним і нормальним законами відповідно;

$f_1(l), f_2(l)$ — щільності розподілів при експоненціальному і нормальному законах. Щільності розподілень

$$f_1(l) = \frac{1}{L_{cp1}} \exp\left(-\frac{l}{L_{cp1}}\right) \quad (5.14.4)$$

$$f_2(l) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_2} \exp\left(-\frac{(l - L_{cp2})^2}{2\sigma_2^2}\right). \quad (5.14.5)$$

Параметри $C_1, C_2, L_{cp1}, L_{cp2}$, що входять у вирази (5.14.3), (5.14.4) і (5.14.5), можна визначити за статистичними даними, тобто по оцінках параметрів сумарного розподілу $f(l)$. Для їхнього визначення слід скласти систему п'яти рівнянь, одне з яких - умова нормування $C_1 + C_2 = l$. Чотири інших рівняння одержують, прирівнюючи перший початковий, другий, третій і четвертий центральні статистичні моменти відповідним теоретичним. Вирішення отриманої системи доцільно шукати чисельними способами з використанням методів ітерацій. У ряді випадків процедуру визначення параметрів можна спростити, використовуючи властивості й особливості реальних відомостей про емпіричний розподіл і фізичні передумови моделей відмов.

Перевірка адекватності закону розподілу

У багатьох випадках вид закону є невідомим і гіпотеза про форму закону має потребу в перевірці за правилами математичної статистики. Зіставлення полігону частот з функцією щільності імовірностей, результати графічного вирівнювання статистичних даних на імовірнісному паперу дають тільки орієнтоване, якісне і суб'єктивне судження про близькість емпіричного і теоретичного розподілів. Очевидно, тільки кількісні критерії дають змогу виконати об'єктивну перевірку гіпотези про те, що величина X дійсно розподілена за законом $F(x)$, параметри якого визначені за даними вибірки. Такі критерії відповідності засновані на виборі міри розбіжності між теоретичним і емпіричним розподілами. Величина цієї міри не повинна перевищувати деяку межу при заданому рівні значущості q , що характеризує імовірність неприйняття гіпотези, коли вона правильна (імовірність помилки першого роду). Рекомендовані значення $q=0,05; 0,02; 0,01...$ відповідає практично неможливим подіям (з часткою ризику, що характеризує імовірність помилки

другого роду).

Найбільш розповсюдженим є критерій χ^2 (К. Пірсона) [14]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i},$$

де $i=1, 2, 3, \dots, k$ — інтервали групування випадкової величини у вибірковій сукупності обсягом n значень; m_i — частота влучення випадкової величини в i -

й інтервал, $\sum_{i=1}^k m_i = n$; p_i - теоретична накопичена імовірність влучення в i -й інтервал.

При розрахунку критерію χ^2 використовують емпіричні вибіркові дані m_i і накопичені теоретичні частоти np_i , знайдені згідно з теоретичною формулою закону. Кількість інтервалів групування визначає число ступенів свободи $r=k-s-1$, де s - число невідомих параметрів закону. Згідно з величиною та рівнем значущості q знаходять за таблицями робіт [14, 15, 17] величини χ_q . Якщо гіпотеза правильна, то при досить великому n

$$P(\chi^2 > \chi_q^2) = q,$$

і оскільки величина q досить мала, то практично не повинно бути події $\chi^2 > \chi_q^2$. Отже, якщо знайдена за дослідними даними величина при обраному рівні значущості $\chi^2 < \chi_q^2$, то гіпотеза про закон розподілу не суперечить дослідним даним.

Правила перевірки узгодження дослідного розподілу з теоретичним, як правило, визначені стандартом. На підставі цього стандарту повинні встановлюватися види розподілень показників якості продукції і техніко-економічних показників, що включаються в нормативно-технічні документи.

Для критерію χ^2 стандарт встановлює дуже жорсткі умови застосування: $n > 200$ і $np > 18$. Якщо $np < 10$, то поєднують дані розташованих поряд інтервалів, щоб сумарна накопичена частота в інтервалі була не менше 10.

Застосовують також більш потужний критерій ω^2 . Він рекомендується у випадках, коли результати перевірки за іншими критеріями не дозволяють зробити безумовний висновок. Цей критерій вимагає більшого обсягу обчислень.

Практичне заняття 5 (до теми 14): визначення закону розподілу напрацювання до відмови.

Мета заняття: опанування методикою обробки даних пробігу до відмови.

Як приклад, розглянемо визначення передбачуваного виду теоретичного закону розподілу і розрахунку оцінок його параметрів на основі застосування методу моментів.

Нехай на підставі спостережень за роботою випадкової вибірки $n=200$ об'єктів отримані дані про їхні напрацювання до відмови, які наведені у вигляді упорядкованого за інтервалами варіаційного ряду емпіричного розподілу в таблиці 5.14.1.

Розрахуємо статистичні початкові моменти першого n_1 і другого n_2 порядків за дослідними даними:

$$n_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} m_i x_i = \sum_{i=1}^{10} W(x_i) x_i \quad (5.14.6)$$

$$n_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{10} m_i x_i^2 = \sum_{i=1}^{10} W(x_i) x_i^2 \quad (5.14.7)$$

Таблиця 5.14.1

Номер інтервалу I	Інтервал напрацювання, l , тис.км	x_i	Частота, m_i	Частковість, $W(x_i)$	Початкові статистичні моменти	
					$W(x_i)x_i$	$W(x_i)x_i^2$
1	0-100	-4	6	0,03	-0,012	0,48
2	100-200	-3	11	0,055	-0,165	0,495
3	200-300	-2	17	0,085	-0,17	0,34
4	300-400	-1	30	0,15	-0,15	0,15
5	400-500	0	43	0,215	0	0
6	500-600	+1	41	0,205	0,205	0,205
7	600-700	+2	26	0,13	0,26	0,52
8	700-800	+3	16	0,08	0,24	0,72
9	800-900	+4	8	0,04	0,16	0,64
10	900-1000	+5	2	0,01	0,05	0,25
Сума			200	1,00	$n_1=0,31$	$n_2=3,8$

Для спрощення обчислень замість реальних значень напрацювання l використана умовна змінна x_i . Очевидно, між x_i і l_i — напрацюванням для середин інтервалів існує залежність

$$l_i = l_{(i=5)} + \Delta l x_i,$$

де $l_{(i=5)} = 450 \cdot 10^3$ км — напрацювання середини інтервалу;

$i=5, x_i=0$;

$\Delta l = 100 \cdot 10^3$ км — ширина інтервалу.

Побудувавши полігон (багатокутник) часток емпіричного розподілу $W(x_i)$ на рис. 5.14.1, висуваємо з його виду гіпотезу щодо нормального закону розподілу. Оцінку параметрів теоретичного закону одержимо, прирівнявши відповідно до основних положень методу теоретичні моменти до статистичних, використовуючи вирази (4.11.3), (5.14.6) і (5.14.7):

$$a_x = n_1; \sigma_x = \sqrt{S_x^2}.$$

S^2 можна розрахувати за формулою (4.11.2) або, коли скористатися уже розрахованими початковими моментами n_1 і n_2 , за формулою

$$S_x^2 = n_2 - n_1^2.$$

Розрахунки за відповідними формулами зведені в таблицю, з якої

$$a_x = n_1 = 0,31; \sigma_x = \sqrt{n_2 - n_1^2} = \sqrt{3,8 - 0,31^2} = 1,925.$$

У таблиці наведено розрахунок критерію χ^2 для перевірки гіпотези про нормальний закон розподілу, параметри якого: $a = 481 \cdot 10^3$ км; $\sigma = 192,5 \cdot 10^3$ км. Під час розрахунку даних табл. 5.14.2 використана табульована функція Лапласа [14]:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{x^2}{2}} dx,$$

за допомогою якої знайдені значення p_i .

Число ступенів свободи $r = k - c - 1 = 8 - 2 - 1 = 5$,

Оскільки використано з урахуванням об'єднання $k' = 8$ інтервалів, за даними вибірки оцінені $c = 2$ параметри (a й σ).

Розрахунком отримано значення $\chi^2 = 2,15$. Для рівня значущості $q = 0,05$ згідно табл. IV роботи [14] маємо $\chi^2_{(q=0.05)} = 11,1$. Оскільки $\chi^2 < \chi^2_q$, то гіпотеза

про нормальний закон не суперечить дослідним даним. Аналіз табл. IV[14] показує, що при $r=5$ і $q=0,8$ $\chi^2=2,34$. Це можна тлумачити так, що при даній гіпотезі про нормальний закон з імовірністю 0,8 можуть бути отримані значення, що перевищують знайдене згідно з вибіркою $\chi^2=2,15$.

Перевірка узгодження статистичного і теоретичного законів розподілу може бути виконана і за критерієм згоди Колмогорова [17]. Для наведеного раніше прикладу визначення параметрів закону за допомогою імовірнісного паперу можна знайти найбільше відхилення дослідної точки від прямої $Q(l)$ і обчислити величину $\lambda n = D\sqrt{n}$.

Задаються рівнем значущості q і за статистичними таблицями знаходять $\lambda(q)$. Якщо $\lambda n < \lambda(q)$ то гіпотеза приймається.

Для нашого прикладу на рис. 5.14.3 $D=0,025$, $n=30$ і $\lambda n=0,025\sqrt{30}=0,136$. За даними табл.2 ГОСТ 11.006—74 $\lambda q=0,44$ уже при $q=0,01$. Отже $\lambda n < \lambda q(q=0,01)$ і дослідні дані не суперечать гіпотезі.

Таблиця 5.14.2

i	L_i тис.км	$T=(t-a)/\sigma$	$\Phi(t)$	p_i	np_i	m_i	$(m_i-np_i)^2/np_i$
1	0-100	(-2,2)-(-9,48)	0,5-0,4761	0,0239·	14,42	17	0,7552
2	100-200	(-1,98)-(-1,46)	0,4761-0,4279	0,0482·			
3	200-300	(-1,46)-(-0,91)	0,4279-0,3264	0,1015	20,3	17	0,5364
4	300-400	(-0,94)-(-0,42)	0,3264-0,1628	0,1636	32,7	30	0,226
5	400-500	(-0,42)-0,099	0,1628—0,030	0,2018	40,36	43	0,173
6	500-600	0,099-0,618	0,03-0,23	0,191	38,22	41	0,205
7	600-700	0,618-1,14	0,23-0,373	0,143	28,6	26	0,236
8	700-800	1,14-1,66	0,373-0,452	0,079	15,8	16	0,0025
9	800-900	1,66-2,18	0,452-0,4851	0,0334·	9,6	10	0,0167
10	900-1000	2,18-2,7	0,4851-0,5	0,0146·			

Запитання до самоперевірки

1. Пояснити зв'язок точності визначення емпіричних законів і відповідних параметрів розподілень з плановими витратами на технічне обслуговування.
2. Чим можна пояснити двомодальність розподілу напрацювання до відмови деяких агрегатів?
3. Сутність методу максимуму правдоподібності для визначення оцінок параметрів.
4. Сутність методу моментів визначення параметрів.
5. В чому сутність методу поділяючих розбивок?
6. Назвіть критерії оцінки перевірки гіпотез вибору закону розподілу випадкових подій.

Модуль 6. СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ РУХОМОГО СКЛАДУ

Тема 15. Планово-попереджувальний принцип забезпечення справності

Основні поняття та визначення

Сучасні машини складаються з окремих складальних одиниць і агрегатів, які мають різні технічні ресурси, що обумовлюється їхнім призначенням, властивостями матеріалів і різними умовами експлуатації. Іноді думають, що варто проектувати машину, яка має деталі з однаковими термінами служби, завдяки чому і буде оцінюватися її довговічність. Така ідеальна машина не вимагала б ніякого ремонту і її після зношування деталей доцільно було б замінити новою. Але виготовлення машин з однаковою міцністю деталей у найближчому майбутньому малоймовірне й економічно недоцільне, отже, зберігається необхідність в їхньому ремонті.

За рахунок ремонту досягається найбільш повне використання технічних ресурсів деталей, складальних одиниць і агрегатів машини, що обумовлює його економічну доцільність. Навіть в умовах неспеціалізованих заводів відновлена деталь коштує менше нової. На міському електротранспорті розроблена і впроваджена система планово-попереджувальних ремонтів, яка, відбиваючи специфіку експлуатації міського електротранспорту, є найважливішим прогресивним заходом, що сприяє підвищенню довговічності устаткування. Система технічного обслуговування і ремонту (система ТО і Р) показала переваги над іншими системами ремонту: післяоглядовою, стандартною та ін. [20-22].

Найважливішою перевагою системи ТО і Р є те, що вона передбачає комплекс профілактичних заходів, які виключають виникнення катастрофічного зношування складових частин рухомого складу, зменшують ймовірність несподіваного виходу з ладу устаткування. Під системою технічного обслуговування і ремонту рухомого складу слід розуміти сукупність дій, що визначають утримання трамвайних вагонів і тролейбусів у працездатному стані і регламентують наступні параметри:

- номенклатуру обслуговувань і ремонтів (види оглядів і ремонтів);
- циклічність (чергування) оглядів і ремонтів, тобто структуру ремонтного циклу;
- періодичність обслуговувань і ремонтів (міжремонтні пробіги і терміни роботи);
- глибину відновлень (характеристики оглядів і ремонтів, тобто обсяги ремонтних та контрольно-профілактичних робіт).

Відповідно до цих параметрів розробляють положення, які визначають організацію і технологію ТО і Р. Вони є вхідними, керованими і впливають на вихідні показники ефективності системи ТО і Р.

Під відновлюваною роботою слід розуміти деякий одноразовий вплив на технічну систему (трамвай чи тролейбус), метою якого є визначення стану системи і ліквідація відмови (якщо вона має місце), або поліпшення характеристик безвідмовності, працездатності й економічності. Кожна відновлювальна робота може бути охарактеризована трьома особливостями, які впливають на її тривалість чи на втрати, викликані її проведенням.

По-перше, відновлювальна робота (ремонт) проводиться в деякий випадковий момент (наприклад, при відмові рухомого складу між плановими ремонтами) або в заздалегідь призначений час (планове обслуговування і ремонти). Ремонт у випадковий, заздалегідь невідомий момент може потребувати додаткового часу на організацію ремонтної бригади, підготовку робочого місця, що збільшує час відновлення і витрати. До цього необхідно додати соціальний збиток, який наноситься пасажиром через зрив графіка руху.

По-друге, система (трамвайний вагон чи тролейбус, окремий вузол) на початку відновлювальної роботи може знаходитися в працездатному або непрацездатному стані. У першому випадку необхідно затратити додатковий час на пошук елемента, що відмовив, і ліквідацію наслідків відмови.

По-третє, глибина відновлення може бути різною. Вона характеризується тим, яка частина системи обновляється і до якого рівня в результаті проведення даного ремонту. Залежно від глибини відновлювання змінюються характеристики безвідмовності РС при подальшій роботі. При класифікації відновлювальних робіт можна виділити наступні випадки глибини відновлювання:

- ніякого відновлення в РС не проводиться;
- після відновлювальної роботи РС повністю поновлюється, тобто всі робочі параметри і характеристики кожного вузла і деталі відновлюються до рівня, передбаченого технічними умовами на виготовлення;
- після відновлювальної роботи поновлюється частина елементів РС.

Слід зазначити, що відновлювальна робота, яка не поновлює жодного елемента, проводиться тільки в працездатній системі. У цьому випадку вона відбувається для визначення стану системи, тобто є діагностичною. В інших випадках відновлювальна робота може виконуватися як із працездатною системою, так і з тією, що відмовила.

Між цими групами робіт можуть існувати різні співвідношення залежно від прийнятого критерію оптимальності і стратегії у проведенні технічного обслуговування. Але в будь-якому випадку основна вимога, яка поставлена до системи ТО і Р, полягає в тому, щоб забезпечити максимальну імовірність того, що в деякий довільний момент часу РС виявиться справною і виконає своє завдання, а затрати праці, часу і засобів для підтримки його в справному стані будуть мінімальні.

Залежно від складності РС профілактичні роботи можуть виконуватися при досягненні:

- визначеного напрацювання (профілактика за напрацюванням),
- припустимих значень робочих параметрів (профілактика за станом);
- обох названих показників (комбінована профілактика).

Види обслуговувань і ремонтів

Номенклатура видів ремонтів і обслуговувань, що входять у ремонтний цикл, зокрема визначається тим, на скільки груп елементів, що мають однакову довговічність, можна розділити трамвай чи тролейбус.

Застосовувані в різних галузях промисловості системи ТО і Р передбачають для однотипного устаткування неоднакове число видів технічного обслуговування і ремонтів у циклі (від 4 до 12) з різноманітною структурою ремонтного циклу (порядок чергування ремонтів), різні співвідношення між обсягами відновлювальних робіт для окремих видів ремонту.

На міському електричному транспорті діє система технічного обслуговування і ремонту, що є планово-попереджувальною [23].

Згідно з ДЕРЖСТАНДАРТ 18322 «Система технічного обслуговування і ремонту техніки. Терміни і визначення» стосовно міського електричного транспорту містить наступні види ТО і Р.

Періодичне технічне обслуговування (ТО) - технічне обслуговування, яке виконується через встановлені в експлуатаційній документації значення напрацювання, інтервали часу. Сезонне технічне обслуговування (З) – технічне обслуговування, що виконується для підготовки для використання в осінньо-зимових чи весняно-літніх умовах. Поточний ремонт (ПР) - ремонт, що виконується для забезпечення відновлення працездатності рухомої одиниці і полягає в заміні й (чи) відновленні окремих частин. Середній ремонт (СР) - ремонт, що виконується для відновлення справності й часткового ресурсу рухомої одиниці. Капітальний ремонт (КР) - ремонт, що виконується для

відновлення справності й повного чи близького до повного відновлення ресурсу рухомої одиниці.

Як правило, капітальний і середній ремонти є плановими ремонтами, постановка РС на які здійснюється відповідно до вимог нормативно-технічної документації.

Поточний ремонт завжди є *неплановим ремонтом*, однак іноді і середній, і капітальний ремонти можуть виконуватися в неплановому порядку, особливо тоді, коли порушення працездатності РС відбулося через дорожньо-транспортний випадок.

Тема 16. Організація проведення контрольних і ремонтно-профілактичних заходів

Принципи складання графіків контрольних і ремонтно-профілактичних заходів

Вибір часу для виконання контролю стану і ремонтно-обслуговуючих впливів на рухомий склад МЕТ і тривалості його роботи на лінії є дуже відповідальним моментом. З погляду найбільш ефективного використання рухомого складу необхідно прагнути до того, щоб максимальний обсяг відновлювальних і контрольних робіт виконувався в години, коли РС не бере участі в процесі перевезення пасажирів. При цьому буде досягнутий максимальний коефіцієнт використання машин і створена передумова для високої якості обслуговування пасажирів.

Потреба в РС на лінії тісно зв'язана з розподілом інтенсивності пасажиропотоків. Хоча останній на кожному маршруті того чи іншого міста має свої особливості, що впливають з його структури, розташування житлових масивів, розташування промислових зон та інших умов, можна виділити загальні моменти в характері пасажиропотоків маршрутів громадського транспорту переважної більшості міст України (крім окремих курортних). Пасажиропотік у робочі дні тижня відрізняється крайньою нерівномірністю (рис. 6.16.1, крива1). Найбільша інтенсивність потоків має місце в години ранкового і вечірнього піку зі спадом у міжпікові години. Вечірній пік менш інтенсивний, але більш тривалий.

З економічних міркувань при складанні розкладу руху прагнуть передбачити число тролейбусів на лінії, пропорційне пасажиропотоку, допускаючи, однак, що в години пік наповнюваність машин більша, ніж в ранкові, вечірні й міжпікові години. У ранні ранкові й пізні вечірні години

число машин на маршруті визначають не пасажиропотоком, а максимально припустимим інтервалом руху.

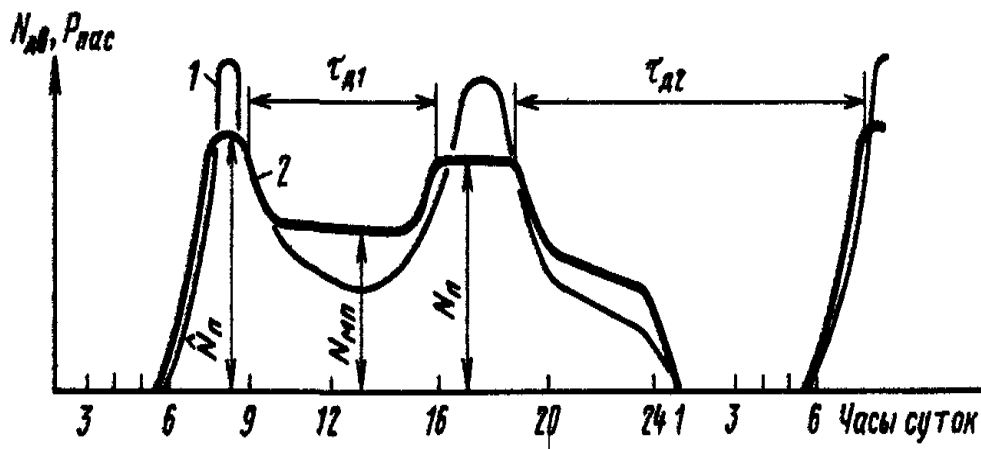


Рис. 6.16.1 – Характер зміни пасажиропотоку (крива 1) і випуску рухомого складу (крива 2) за годинами доби

Крива виходу з депо і заходу в нього машини або вагону (див. рис. 6.16.1, крива 2) описує в загальному випадку всі характерні моменти кривої зміни пасажиропотіків. Ця крива розширюється в години пік на час руху машин або вагонів із депо до маршруту і заїзду з маршруту в депо.

Режим зайнятості рухомого складу на маршрутах у робочі дні може бути охарактеризований важливими з позиції організації процесів ТО і Р показниками (див. рис. 6.16.1):

$\tau_{д1}$ — часом між ранковим і вечірнім піками випуску рухомих одиниць;

$\tau_{д2}$ — часом між вечірнім і ранковим піками випуску одиниць;

ε_0 — коефіцієнтом глибини знімання одиниць у міжпікові години;

ψ_0 — коефіцієнтом нерівномірності випуску за час пік;

V_p^3 — інтенсивність заходу РС після ранкового піку;

V_B^B — інтенсивністю заходу одиниць відповідно після часів ранкового і вечірнього піків.

У свою чергу, коефіцієнт глибини знімання рухомих одиниць у міжпікові години

$$\varepsilon_0 = N_{min} / N_{max}, \quad (6.16.1)$$

де N_{min} - найменше число машин на лінії в міжпікові години;

N_{max} - число машин у русі в години найбільш інтенсивного піку.

Коефіцієнт нерівномірності випуску машин в години пік можна представити як

$$\psi_0 = N_n / N_{\max}, \quad (6.16.2)$$

де N_n — число машин у русі в години менш інтенсивного піку.

Як правило, РС, що не бере участь у русі між годинами пік, заходить у депо на відстій. У суботу й неділю пасажиропотік не має різкого коливання протягом дня, а його максимальна інтенсивність звичайно нижче на 25—35% проти такої ж у будень. Випуск машин у святкові дні також нижче на 25—30%.

Таким чином, за кількістю РС, що знаходиться в інвентарі депо, найбільш прийнятним часом для ТО і Р без зняття машин з руху є нічний час з тривалістю τ_{02} і денний час з тривалістю τ_{01} , а також вихідні дні. При цьому в нічний час ремонтно-обслуговуючі роботи можуть виконуватися на всіх без винятку машинах, а в денний час (у робочі дні) — від 22 до 34% машин. У вихідні дні в депо залишається близько 25% рухомого складу.

За числом машин і тривалістю їхнього перебування в депо на перший погляд здається більш прийнятним з організаційної точки зору використання нічного часу для відновлювальних і контрольно-діагностичних робіт. Але робота в нічний час має істотні недоліки. Насамперед, трудовим законодавством [24, 25] тривалість нічної зміни встановлена на 1 год. коротше від денної, внаслідок чого місячний баланс робочого часу працівників, зайнятих на нічних змінах, у середньому на 22 год менше. Крім того, вночі спостерігається невисока продуктивність праці, знижується якість роботи; праця в нічний час соціально неприваблива. Ці та інші недоліки організації роботи в нічний час змушують створювати таку систему ремонтно-обслуговуючих робіт, при якій максимально використовувався б саме денний міжпіковий час.

Таке рішення виправдане з економічної і соціальної точок зору, однак створює чимало організаційних труднощів насамперед тому, що період перебування машин у депо в міжпіковий час на 1,5—2 год менше тривалості робочої зміни ремонтного персоналу (з урахуванням обідньої перерви).

Друге важливе обмеження часу для проведення ТО і Р - це виконання максимального обсягу робіт у будні дні при п'ятиденному робочому тижні, хоча шестиденна дозволила б зменшити розрив між тривалістю робочої зміни і часом перебування машин у парку в міжпіковий період і, безумовно, дала б істотні організаційні переваги.

Однак за відомими соціальними перевагами п'ятиденного робочого тижня, а також за умовами закріплення кадрів у депо слід прагнути до такої

організації робіт, при якій максимальне число персоналу мало б п'ятиденний робочий тиждень.

Таким чином, при створенні системи ТО і Р стоїть завдання використовувати найбільш ефективно, в першу чергу період денного міжпикового часу. У нічний час доцільно виконувати тільки ті роботи, потреба в яких виникає щодоби (мийка, прибирання), а також вкрай невідкладні для забезпечення випуску на ранкових годинах піку (усунення відмов і несправностей, виявлених водіями, чи в процесі діагностування $D_{цр}$).

У майбутньому нічний час може бути використаний для виконання контрольних операцій цілком автоматизованими пристроями (чи із залученням мінімального числа операторів). Це дозволить застосовувати інформацію про технічний стан машин для високоефективної організації відновлювальних впливів у денний час. Доцільно також у нічний час виконання окремих відновлювальних робіт за допомогою роботів і маніпуляторів.

Розглянемо більш докладно період перебування РС у депо в денний час, тому що від його характеристики істотно залежить організація процесів ТО і Р в денну зміну.

Виконані дослідження графіків виходу з депо і заходу в нього РС по 54 тролейбусних парках, розташованих у різних регіонах країни, показали, що коефіцієнт глибини знімання машин у міжпиковий час коливається від 0,66 до 0,78, тобто від 22 до 34% машин вилучають з руху між годинами пік.

Це дозволяє зробити висновок, що у всіх обстежених містах можлива, в принципі, за числом машин, що заходять, організація ТО з дуже високою частотою — через 3—5 днів. Таким чином, у цьому разі не існує практичних обмежень для вибору періодичності ТО, принаймні, мінімальна періодичність в один тиждень забезпечується у всіх містах без порушення процесу пасажироперевезень.

Інша картина з тривалістю перебування машин у парку в міжпиковий період - τ_{d1} , аналіз якого показує, що ця величина має істотне коливання в різних містах. Нижче наведені значення τ_{d1} по 54 тролейбусним депо різних міст країни; τ_{d1} коливається від 6 до 8 год. (370-470 хв.).

Число депо 6 7 7 13 10 11

τ_{d1} 370 390 410 430 450 470

Величина τ_{d1} менше в містах з розвинутою гірничо-металургійною та хімічною промисловістю, де в основному скорочена робоча зміна, і в містах з великим розривом часу початку роботи підприємств і організацій.

Слід зазначити, що час τ_{01} у всіх випадках менше тривалості робочої зміни персоналу технічної служби депо, що складає з урахуванням обідньої перерви 525—555 хв. Це є важливим моментом для організації процесів ТО і Р, тому що повне завантаження ремонтного персоналу в цих умовах можуть бути здійснені введенням резервних машин або перерозподілом видів ремонтно-обслуговуючих робіт, що виконується кожним робітником протягом зміни.

Дуже важливою характеристикою міжпікового часу є інтенсивність заходу РС після ранкового піку V_p^3 , тому що вона повинна впливати на ритм роботи ліній ТО.

Дослідженнями графіків руху встановлено, що V_p^3 перевищує в 2 рази інтенсивність заходу машин на лінії ТО. Це дозволяє в розрахунках режимів роботи комплексів ТО та інших ділянок технічної служби не брати до уваги характер кривої заходу і виходу машин, а оперувати тільки міжпіковим періодом - часом τ_{01} . Винятки складають розрахунки накопичувально-відстійних майданчиків, де швидкість заходу тролейбусів після ранкового і вечірнього піку має істотне значення.

Важливим показником характеру використання машин на лінії є коефіцієнт ψ_0 нерівномірності навантажень у години ранкового і вечірнього піку. У випадку, коли $\psi_0 < 1$, стає можливим застосувати для ТО частину машин у період менш інтенсивного піку без збитку для коефіцієнта випуску машин. Практично скрізь кількість машин, що випускаються, на вечірній пік менша, ніж на ранковий, а коефіцієнт ψ_0 у різних містах коливається від 0,94 до 0,97.

Тема 17. Організація проведення робіт

Технічне обслуговування і непланові ремонти

З метою використання найбільш продуктивного часу доби більшість контрольно-діагностичних і ремонтно-відновлювальних робіт ТО, ПР, СР здійснюють у денний час. Вночі виконують тільки процеси ЩО з таким супутнім мінімальним обсягом ремонтних робіт, який необхідний для забезпечення випуску на ранковий час пік.

Обсяг робіт ЩО (крім мийних і прибиральних), а виходить, і число необхідних для ЩО в нічний час працівників менше числа працівників, необхідних для цих же робіт у денний час.

Тому при розробці планувальних рішень тролейбусних депо можливі первинні розрахунки і вибір оптимальних планувальних структур для ТО, ПР, СР, НР з наступними «накладенням» робіт нічної зміни й уточненням компонування павільйонів і відстійно-накопичувальних майданчиків парку в цілому.

Для зручності техніко-економічного обґрунтування систему забезпечення справності рухомих одиниць представимо у вигляді чотирьох технологічних блоків: ЩО; ТО і НР; Д; ПР і СР (КР) з наступним уточненням зв'язків блоків. Деякі пояснення необхідні щодо блоку ТО і НР - у ньому, крім процесів ТО, виконують всі види непланових ремонтів машин, що відмовили, протягом денної зміни, а також у попередній період (не відновлених до початку роботи блоку ТО і НР).

Найбільшу складність в організаційному плані представляє виробничий процес у блоці ТО і НР внаслідок великого числа одиниць, що проходять планові й непланові відновлення протягом дня, строго обмеженого часу для підготовки їх до випуску, випадкового характеру обсягів відновлювальних робіт.

Як відомо, саме при виконанні ТО і НР в існуючих депо спостерігають найнижчі в технічній службі коефіцієнти використання робочого часу, персоналу і площ. Ефективністю роботи цього підрозділу багато в чому визначені й коефіцієнт випуску рухомого складу, і рівень запізнень машин на вечірній пік. Тому організаційно-планувальна структура депо повинна формуватися з урахуванням оптимізації в першу чергу блоку ТО і НР.

Розглянемо найбільш поширену організацію робіт при виконанні ТО. Його здійснюють поточним методом, на кожній поточній лінії передбачено (не враховуючи постів мийки і прибирання) три пости, за кожним з яких закріплені деякі робочі спеціальності. Планом передбачається простій машини на кожному посту близько 20 хв. За цей час на тролейбусі виконують обов'язковий обсяг обслуговуючих і контрольних робіт (звичайно візуальним методом), а також відновлювальні роботи за результатами контролю.

У разі виявлення на машині або вагоні несправності, що вимагає значного простою, їх подають практично через відстійний майданчик на так звану заявочну стрічку. Остання представляє в більшості випадків три послідовно розташованих машино-місця. Аналіз організації робіт при виконанні ТО в деяких депо показує, що передачу одиниць на заявочну лінію роблять тільки у виняткових випадках, коли це пов'язано з трудомісткою заміною агрегатів (мостів, ресор, тягових двигунів і т.п.). У більшості випадків бригада прагне

закінчити весь обсяг контрольних і відновлювальних робіт на постах лінії ТО, що при випадковому обсязі цих робіт, які виконуються за результатами контролю, призводить до постійного порушення роботи лінії ТО.

Значне розсіювання трудомісткості ремонтно-відновлювальних робіт з кожної машини чи агрегату пояснюється об'єктивними причинами - впливом випадкових факторів на технічний стан РС: навантаження, режиму водіння, «віку» машини і її агрегатів, якості попереднього ремонту і т.д. У цих умовах плановий чіткий ритм пересування на практиці не витримується. Пересування починається тільки після закінчення роботи всіма виконавцями, внаслідок чого є значні втрати робочого часу через вимушений простій робітників і в очікуванні переміщень.

На рис. 6.17.1 наведені гістограми і функції розподілу імовірностей тривалості обслуговування тролейбусів на двох постах лінії ТО, отримані за результатами експериментальних досліджень процесів ТО в тролейбусному депо. З рисунку видно істотне відхилення фактичного простою машини на постах від планового, що дорівнює 20 хв.

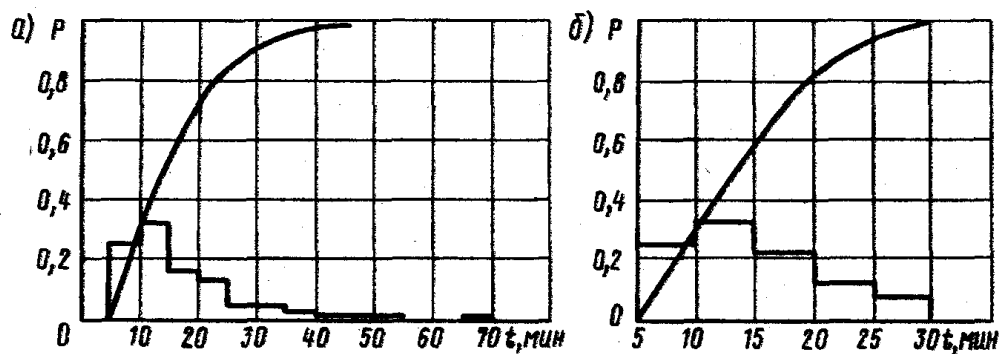


Рис. 6.17.1 – Гістограми і функції розподілу тривалості обслуговування тролейбусів на посту механічного (а) і електричного (б) обладнання

Крім втрат, пов'язаних з невиннованими витратами на утримання ремонтного персоналу, мають місце втрати в зв'язку з незадовільним використанням виробничих площ. Простоювання виконавців пов'язане з тим, що після закінчення робіт на своєму посту на конкретній одиниці остання не може бути пересунута на наступний пост, якщо там не закінчені роботи всіма виконавцями. А це значить, що певний час той або інший пост зайнятий РС, на якому не виконують ніяких робіт, тобто пост, власне кажучи, простоє. Типовою є також ситуація, коли на машині якийсь час працює тільки частина виконавців чи навіть один, тобто пост використовують частково.

Аналіз показує, що призначену для усунення цього недоліку заявочну лінію для вирівнювання такту лінії ТО не застосовують головним чином через

планувальні рішення існуючих депо. По перше, переїзд на заявочну лінію з ліній ТО в існуючих депо здійснюють практично повсюдно з так званим зовнішнім маневром, тобто через відстійно-накопичувальний майданчик. Це пов'язано з додатковим обсягом маневрових робіт, а також з погіршенням умов роботи в зимовий час.

По друге, послідовне розташування трьох постів на заявочній лінії, випадковий характер обсягів робіт приводять до вкрай низького коефіцієнта використання поста заявочної лінії, тривалого простою уже відремонтованого РС в очікуванні можливості виїзду при зайнятих інших постах, що знаходяться попереду.

Одночасно по заявочній лінії пропускають не тільки РС з ліній ТО, але і одиниці, які відмовили на лінії, для непланового ремонту. У випадку великої непланової роботи, наприклад заміни ведучого моста, заявочна стрічка «перекривається» практично на цілу зміну.

Структура робіт на ТО

Розглянемо структуру робіт на прикладі тролейбусів, що проходять ТО. Ці роботи можна поділити на три групи:

перша - контроль технічного стану за допомогою стаціонарних, мобільних і вбудованих засобів діагностування, а також суб'єктивними методами; визначення необхідних відновлювальних впливів за станом;

друга - примусове, без попереднього контролю виконання обслуговуючих впливів (змащення, чищення, підтяжка і т.д.);

третя — здійснення відновлювальних впливів за результатами контролю технічного стану.

Як показує аналіз, трудомісткість виконання операцій першої і другої груп практично стабільна з несуттєвим розсіюванням. Обсяги і трудомісткість же виконання операцій третьої групи є величиною випадковою зі значною варіацією. Це видно з рис. 6.17.2 на якому наведені фактичні трудовитрати виконання робіт третьої групи на 48 тролейбусах Тр-9, що проходять ТО. Аналогічний характер мають коливання обсягів ремонтних впливів у тролейбусів ЗіУ-9, Тр-14, ДАК-217.

У таких умовах коефіцієнт використання робочого часу персоналу ліній ТО буде тим вище, чим ближче ритм роботи лінії до тривалості стабільних обсягів впливів (першої і другої груп). Однак у міру зменшення такту роботи лінії ТО буде збільшуватися число машин, для яких не закінчене обслуговування на лінії ТО і необхідна перестановка їх на ремонтні пости. Це, в

свою чергу, викликає збільшення обсягу маневрових робіт і при зовнішньому маневрі призведе до погіршення умов роботи персоналу.

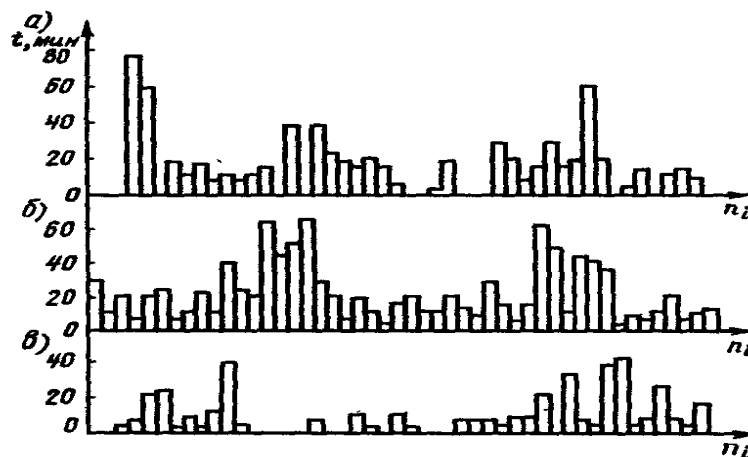


Рис. 6.17.2 – Діаграма трудомісткості виконання ремонтів механічного (а), електричного (б) і пневматичного (в) обладнання при ТО: n_i - порядковий номер тролейбуса на лінії.

Визначення кількості постів

Конкретизацію вимог до ремонтних постів, а саме до їхнього взаємного розташування, доцільно розглянути за результатами техніко-економічного порівняння трьох варіантів:

- варіант 1 - дві лінії, на кожній з яких розташовано по три пости;
- варіант 2 - три лінії, на кожній з яких розташовано по два пости;
- варіант 3 - шість паралельних постів.

Таким чином, загальне число постів у всіх трьох варіантах однакове, у варіантах 1 і 2 виїзд з поста можливий після закінчення робіт на попередньому розташованому пості, у варіанті 3 виїзд і заїзд на пости незалежні.

Пропускну здатність зони при однаковому числі виконавців у всіх трьох варіантах визначали методом імітаційного моделювання на комп'ютері. У процесі моделювання імітувався ремонт тролейбусів з реальним масивом дефектів, при цьому малося на увазі, що на вході у зону ремонту завжди існує черга. Якщо прийняти пропускну здатність одного поста у варіанті 1 за одиницю, то пропускну здатність постів при другому варіанті буде 1,84, третьому—2,86. Звідси очевидна перевага ремонтних постів з незалежним в'їздом і виїздом.

Таким чином, підвищення ефективності роботи комплексу ТО і Р може бути досягнуто тільки спільним рішенням організаційних моментів і планувальної структури, а саме:

- взаємним розташуванням ліній ТО і ремонтних постів, що дозволяють

переїзд з перших на останні, головним чином маневром безпосередньо в цеху;

- таким розташуванням ремонтних постів, при якому є можливість незалежного виїзду з них на відстійну площадку і в'їзду, принаймні на частину постів з відстійної площадки;

- зниженням такту лінії ТО до такого значення, при якому досягався б мінімум сумарних втрат при виконанні ТО і НР.

На рис. 6.17.3 зображена організаційно-планувальна структура блоку ТО і НР, що враховує наведені вимоги. У зображеному варіанті передбачена трипостова лінія ТО, але розглянутий нижче підхід дозволяє поширити його і на варіант з двопостовою лінією ТО.

Технічне обслуговування рухомого складу у блоці ТО і НР

Розглянемо процес обслуговування рухомих одиниць у блоці ТО і НР на прикладі тролейбусів (рис. 6.17.3). Технічному обслуговуванню підлягає $N_{ТО}$ машин, після проходження мийно-прибиральних робіт у комплексі ЩО останні накопичуються на майданчику $П_1$. На майданчик $П_2$ надходять тролейбуси для непланового ремонту, що відмовили на лінії протягом денної зміни, N_{np1} .

Крім того, до початку роботи блоку ТО і НР на майданчику $П_2$ уже знаходяться машини, що очікують непланового ремонту,— їх число N_{np2} . Ці тролейбуси вдалося відновити протягом найближчої нічної зміни чи в попередні дні. Машини $N_{ТО}$, N_{np1} , N_{np2} відновлюють у блоці ТО і НР, що складається з K_2 потокових ліній ТО і r_n ремонтних постів.

Кожна лінія ТО включає три пости:

перший - пост діагностування за допомогою стаціонарних стендів;

другий - пост контролю і обслуговування електричного обладнання ;

третій - пост контролю і обслуговування механічного обладнання.

На першому роблять діагностичні і, при необхідності, регулювальні операції (регулювання гальмових систем, підкачування шин і т.д.); на другому і третьому - контрольно-діагностичні роботи за допомогою мобільних засобів діагностування і суб'єктивних методів; а також роботи з обслуговування з постійним обсягом (змащення, чищення, підтяжка), а також ремонтно-обслуговуючі впливи, необхідність в яких виникла за результатами діагностування, за умови, що їхня трудомісткість не перевищує заздалегідь заданого часу α .

Тролейбуси, для яких необхідне проведення ремонтно-обслуговуючих робіт в обсягах, що перевищують заздалегідь заданий час α , направляють у ремонтну зону. При цьому частина машин у кількості N_{TOA} попадає на пости ремонтної зони внутрішнім маневром безпосередньо з ліній ТО, а частина в кількості N_{TOB} - у ремонтну зону через відстійно-накопичувальний майданчик Π_2 .

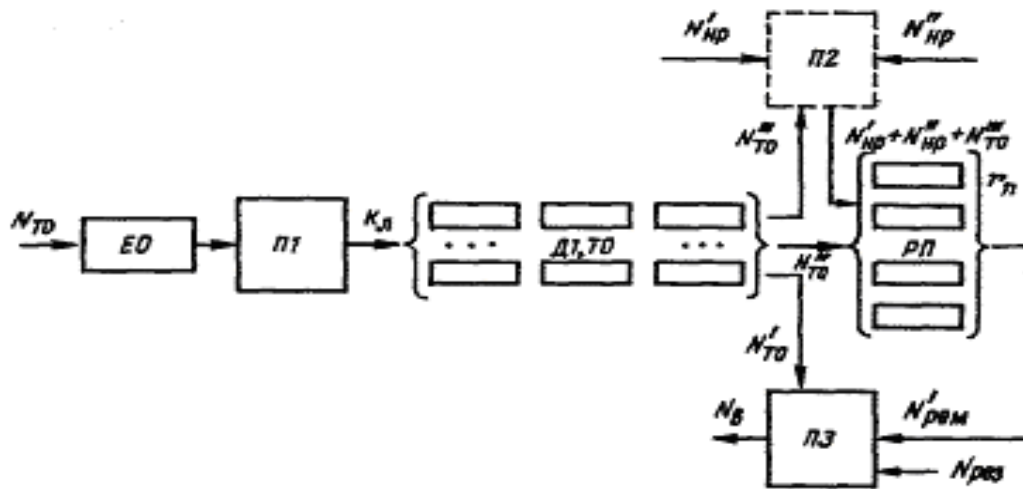


Рис. 6.17.3 – Організаційно-планувальна структура блоків ТО і НР

Машини N_{TOA} направляють з ліній ТО на майданчик Π_2 в тих випадках, коли в момент виходу з лінії ТО (при необхідності в додатковому ремонті) не було жодного вільного ремонтного поста.

На постах однієї лінії ТО зайнято відповідно n_e електриків і n_m механіків, кожний з яких закріплений за певною групою вузлів. Будемо вважати групу вузлів, за якою закріплений на посту ТО один виконавець, одним узагальненим.

Заходи з повного відновлення одного узагальненого вузла можна подати у вигляді робіт постійного (контрольно-діагностичні роботи, обслуговування по напрацювання) і змінного обсягів (ремонтно-обслуговуючі впливи за результатами контрольно-діагностичних робіт). Імовірність тривалості робіт для повного відновлення узагальненого вузла має вигляд, поданий на рис. 6.17.4, де τ_n - тривалість робіт постійного обсягу, що виконуються з імовірністю одиниця.

Очевидно, мінімальним тактом потоку лінії ТО може бути час τ_{nmax} , який дорівнює найбільшій тривалості робіт постійного обсягу по одному з вузлів. Але може бути призначений і інший такт пересування тролейбусів, наприклад такт α , при якому $\alpha > \tau_{nmax}$. Тоді кожен виконавець у рамках часу α робить

постійний обсяг заходів трудомісткістю τ_i а потім може виконати і роботу випадкового обсягу, необхідність в який їм виявлена, якщо τ_{pi} задовольняє умові $\tau_{pi} < \alpha \cdot \tau_i$.

Якщо ж виявлена робота має велику тривалість, тобто при $\tau_{pi} > \alpha \cdot \tau_i$, то машину направляють після лінії ТО на один з вільних ремонтних постів, а у випадку зайнятості останніх на майданчик Π_2 з наступним переміщенням на ремонтний пост, що звільнився. Машину, на якій по всіх узагальнених вузлах $\tau_{pi} < \alpha \cdot \tau_i$, обслуговують на лінії ТО і подають на майданчик Π_3 готових до випуску машин. Число таких машин $N_{ТОГ}$.

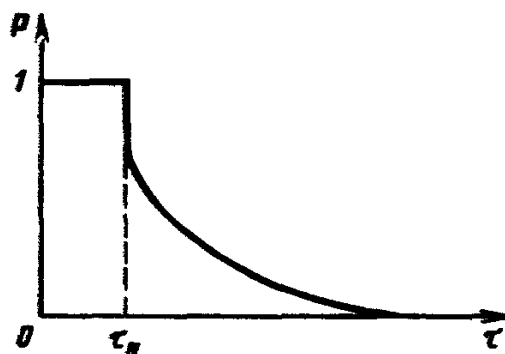


Рис. 6.17.4 – Типова функція імовірності тривалості контролю, обслуговування і ремонту тролейбуса при ТО від часу τ

На ремонтні пости надходять чотири потоки машин: до моменту початку роботи блоку ТО і Р на пости ремонтної зони встановлюють машини $N_{ТО}$, а потім туди надходять безпосередньо тролейбуси з лінії ТО $N_{ТОА}$, а через майданчик Π_2 - машини $N_{ТОА}$ і $N_{ТОВ}$.

Усі пости ремонтної зони уніфіковані, на кожному з них може здійснюватися ремонт і електричних, і механічних вузлів. На постах працює m_e електриків, зайнятих ремонтом електричного устаткування, і m_m , механіків, які виконують ремонт механічного, пневматичного і гідравлічного устаткування.

Виконавці не закріплені за постами і можуть відновлювати відповідний вузол на будь-якому посту. Відремонтовані тролейбуси $N_{рем}$ надходять на майданчик Π_3 готових до випуску машин.

Заїзд частини з них на лінію діагностування при необхідності повторного контролю на рис. 6.17.4 не показаний.

З позиції забезпечення планового випуску тролейбусів на лінію в роботі блоку ТО і НР є два відповідальних моменти:

- перший - це готовність машин до випуску на вечірній пік;
- другий - повне завершення відновлення всіх тролейбусів до кінця роботи блоку ТО і НР, що визначає готовність машин до випуску на ранковий пік наступного дня.

Момент повної готовності тролейбусів до випуску на вечірній пік настає до закінчення роботи блоку ТО і НР, тому що період часу між часами піків у багатьох містах на 2—2,5 год. менше тривалості денної робочої зміни. Це найбільш відповідальний момент, що впливає на такий важливий показник, як коефіцієнт випуску.

Якщо за умовами пасажироперевезень для випуску на вечірній пік потрібно $N_{\text{в}}$ тролейбусів, а до цього моменту число обслугованих машин менше, то для безумовного забезпечення випуску необхідно мати в депо резерв справних машин.

За тих самих умов (надійності рухомого складу, програмі ТО, трудомісткості постійних і змінних робіт) величина резерву істотно залежатиме від основних параметрів блоку ТО і НР, а саме: числа K_L ліній ТО, r_n ремонтних постів, числа виконавців і прийнятого такту α потоку ліній ТО.

Так, збільшенням кількості ліній, ремонтних постів, робочих на цих постах число резервних машин може бути істотно зменшене чи навіть зведено до нуля. Однак, при цьому зростуть втрати в блоці ТО і НР за рахунок зниження коефіцієнтів завантаження персоналу, ліній і постів.

Як вказувалося, в окремих випадках, в умовах дефіциту тролейбусів, максимальне значення $N_{\text{рез}}$ може задаватися. Тоді оптимізація параметрів блоку ТО і Р зводиться до мінімізації втрат у блоці ТО і НР при заданому $N_{\text{рез}}$.

Однак, найбільшу зацікавленість становить спільна оптимізація і параметрів блоку ТО і Р, і числа резервних машин $N_{\text{рез}}$. Тільки в цьому разі можливий об'єктивний підхід - мінімізація втрат.

Щоденне обслуговування

Щоденне обслуговування (ЩО) включає мийно-прибиральні операції, діагностування деяких параметрів, а також ремонт за результатами діагностування, заявками лінійних та інформацією маневрових водіїв.

Для мийки зовнішніх поверхонь кузова застосовують високопродуктивні мийні машини, зокрема розроблену в Науково-дослідному і конструкторсько-

технологічному інституті міського господарства. Вона забезпечує мийку всіх поверхонь кузова протягом 2—3 хв без ручного миття. Операції діагностування *Дццо* не вимагають яких-небудь підготовчих робіт, їх здійснюють протягом 3—4 хв.

Ремонтні роботи мають випадковий характер, причому імовірності виявлених у процесі контролю несправностей на РС і наявності заявок водіїв, які вимагають ремонтних впливів, коливаються в різних депо від 0,2 до 0,32. Нижче наведені імовірності проявлення несправностей при ЩО на машинах ЗіУ-9 в тролейбусному депо № 3 м. Харкова.

Імовірність відсутності несправностей 0,70

Імовірність наявності на одній машині несправностей з обладнання:

- електричного 0,13

- механічного 0,07

- одночасно електричному і механічному 0,09

Трудомісткість робіт з усунення несправностей має дуже велику варіацію - від 1-2 хв (заміна однієї з ламп бортової сигналізації) до 3-4 год (заміна ресор, редукторів, тягових електродвигунів).

Завдання підрозділу ЩО полягає у забезпеченні готовності тролейбусів до ранкового випуску. Це є найбільш відповідальним моментом у всій діяльності технічної служби і вимагає нерідко великих зусиль від усіх працівників ЩО. Тому добір серед машин, що зайшли вночі в депо, які потребують непланового ремонту, і розподіл працівників ЩО на кілька підрозділів не доцільні.

У більшості депо контроль визначених вузлів на ЩО і проведення випадкових ремонтних робіт усіх видів у нічну зміну здійснюють однією і тією ж бригадою ЩО. Остання несе повну відповідальність за готовність тролейбусів до випуску на ранковий пік. В окремий підрозділ можуть бути виділені тільки працівники, зайняті прибиранням салонів РС, тому що вони мають стабільний обсяг роботи протягом кожної зміни й участі в ремонтних роботах не беруть.

Тому надалі під обсягом ЩО будемо розуміти всі види операцій, необхідних для підготовки машин до ранкового випуску, не виділяючи в особливий вид робіт непланові ремонти незалежно від обсягу останніх.

Одним з основних елементів технологічного блоку ЩО є мийно-прибиральна ділянка. В існуючих тролейбусних депо можна виділити два способи його влаштування: послідовно з лініями цеху обслуговування РС й у вигляді окремих мийно-прибиральних ліній.

Практично у всіх депо, побудованих до початку 80-х років, ділянка мийно-прибиральних робіт у плануванні депо займає положення, подане на рис. 6.17.5. На ньому показаний фрагмент плану цеху обслуговування тролейбусного депо на *200 машин* (депо № 4 м. Донецька, депо № 2 м. Києва), де на всіх шести лініях, призначених для виконання ЩО в нічну зміну і ТО в денну, виділені мийно-прибиральні ділянки.

Перевазі такої планувальної структури - мінімуму маневрових робіт - протистоять істотні недоліки, основні з яких полягають у наступному:

- значно погіршуються умови роботи ремонтного персоналу - на постах ТО і Р має місце підвищена вологість підлоги цеху і канав, які завжди мокрі від стікаючої води з РС;
- застосування сушильно-обдувальних пристроїв на виході із зон мийки не дозволяє повністю виключити попадання води на канави цеху, створюючи в той же час підвищений шум;
- не має можливості робити в денний міжпиковий час мийку РС, який зайшов у депо на відстій і не направляється на ремонт чи обслуговування;
- нераціонально використовуються виробничі площі і мийно-прибиральне технологічне обладнання: сучасна мийна машина дозволяє пропустити протягом нічної зміни 100—150 одиниць РС, тому виходить, що для депо з 200 одиниць рухомого складу достатньо двох мийно-прибиральних ліній замість шести існуючих.

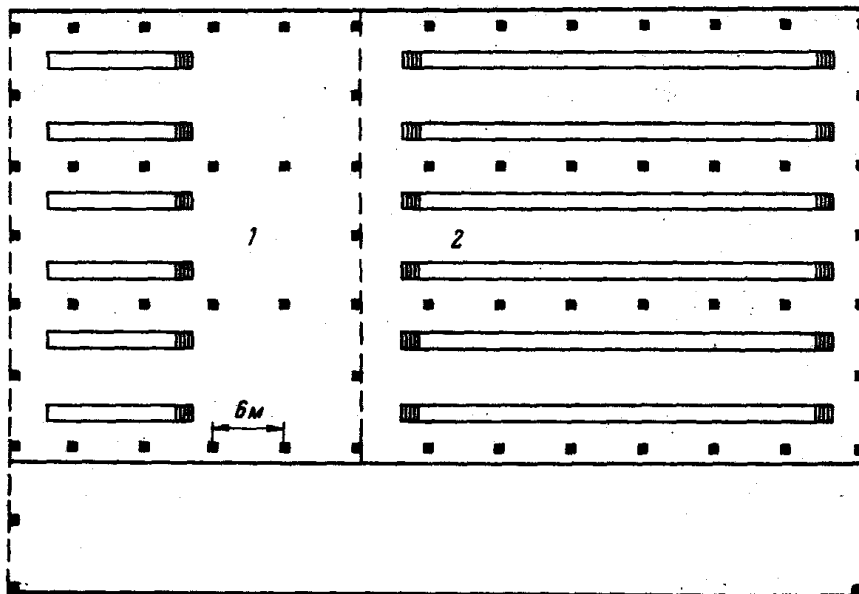


Рис. 6.17.5 – Фрагмент планування цеху ТО:
1-мийно-прибиральне відділення; 2-зона ТО і Р

З урахуванням цих недоліків в останні роки в проектах депо передбачені мийно-прибиральні лінії, які відокремлені від загального виробничого корпусу або є його частиною.

Після проходження такої лінії рухомий склад через відстійно-накопичувальний майданчик подають на лінії цеху обслуговування для виконання контрольних і, при необхідності, ремонтних операцій.

Незалежні заїзд і виїзд з таких ліній дозволяє позбутися недоліків попередніх планувальних рішень, але це призводить до збільшення вартості будівництва і обсягу маневрових робіт, що особливо відчутно саме при виконанні ЩО.

Переміщенню з мийно-прибиральних ліній на лінії цеху ТО підлягають усі без винятку тролейбуси, які проходять ЩО, що, крім додаткових витрат (трудових, електроенергія), погіршує умови роботи ремонтного персоналу, особливо в осінньо-зимовий період.

Використання високопродуктивних технічних засобів для проведення контрольно-діагностичних заходів в обсязі ЩО дозволяє застосувати таку організаційно-планувальну структуру блоку ЩО, при якій прибиральні, мийні й діагностичні роботи працювали б на постах однієї лінії. Це знижує на 70—80% обсяги маневрових робіт при збереженні всіх переваг окремо збудованих мийно-прибиральних ліній.

На рис. 6.17.6 наведена схема блоку ЩО, що включає одну лінію, призначену для обслуговування в обсязі ЩО депо з інвентарним числом 100—150 одиниць РС. У депо більшої місткості число ліній зростає.

Пост діагностування блоку ЩО повинен бути попереду поста мийки і прибирання. Досвід розробленого Науково-дослідним і конструкторсько-технологічним інститутом міського господарства комплексу з такою схемою, його будівництва й експлуатація в тролейбусному депо м. Львова підтвердив доцільність проведення діагностичних робіт в обсязі ЩО, що різко зменшує наявність вологи на посту діагностування.

Важливою перевагою такої схеми, особливо для тролейбуса є також можливість перевірити струм витоку до заходу машини в мийну зону. Практика показала, що наявність забруднень на кузові РС в окремі дні не є перешкодою для проведення контрольно-діагностичних заходів в обсязі ЩО.

На посту діагностування встановлюють стенд для контролю струмів витоку (для тролейбусного депо), а також пристрій для дистанційної перевірки бортової сигналізації. Керування контрольними стендами і пристроями повинне здійснюватися, як правило, маневровим водієм з кабіни РС. Загальна тривалість

такого діагностування, включаючи візуальний контроль деяких елементів, складає близько 3 хв.

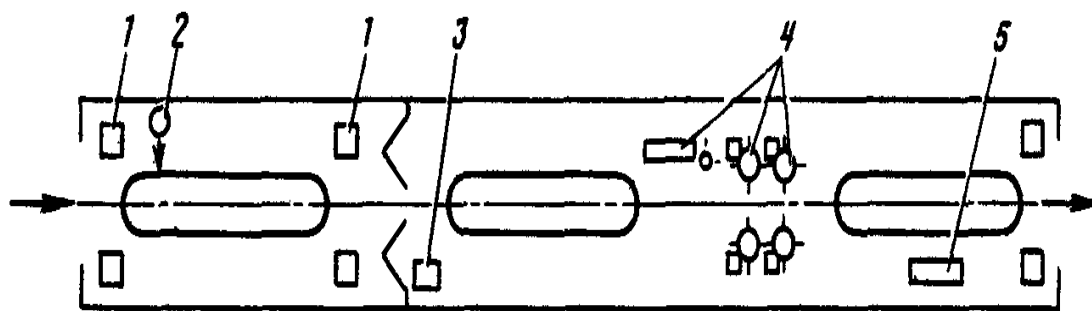


Рис. 6.17.6 – Планування лінії блоку ЩО:

- 1 - пристрій дистанційного контролю бортової сигналізації;
- 2 - стенд контролю стуму витоків (для тролейбусних депо);
- 3 - апаратура системи низьковольтного електропостачання;
- 4 - установка для мийки; 5 - установка для внутрішнього прибирання РС

Межі економічної доцільності поста діагностування в блоці ЩО визначають співвідношенням

$$Q_{\text{пос}} \leq E_{\text{м}},$$

де $Q_{\text{пос}}$ - річні приведені витрати на утримування поста діагностування в блоці ЩО;
 $E_{\text{м}}$ - скорочення витрат за рахунок зменшення обсягів маневрових робіт при наявності поста діагностування у блоці ЩО.

Аналіз графіків заходу машин у парк у деяких містах країни після вечірніх годин пік і виходу їх на лінію на ранковий пік показує, що загальний час перебування тролейбусів у депо в нічний період складає 10—11 год. За цей час треба здійснити регламентні роботи ЩО (мийно-прибиральні, контрольно-діагностичні), а також випадкові.

Обсяги ремонтних робіт виявляють у процесі діагностування з одночасним уточненням заявок водіїв, тобто при проведенні регламентних робіт ЩО. Чим раніше будуть закінчені останні, тим більшою є імовірність виконати випадкові роботи до початку ранкового випуску.

Розрахунки свідчать, що найбільш прийнятним ритмом роботи блоку ЩО слід вважати 5—6 хв, що складає 8—8,5 год. проходження регламентних робіт ЩО на одній лінії блоку близько 100 машин. При такому ритмі на посту діагностування можуть проводитися і дрібні ремонтні роботи тривалістю 2-3 хв (наприклад, заміна згорілих ламп бортової сигналізації чи освітлення салону та ін.). Це ще в більшій мірі скорочує число тролейбусів, що вимагають постановки на ремонтні пости.

Одним з основних видів обладнання блоку ЩО є установка для мийки зовнішніх поверхонь кузова. На автомобільному транспорті застосовують установки для мийки автобусів, які дозволяють мити бічні, передні й задні частини кузова. Мийні машини цього типу використовують також у більшості тролейбусних депо. Але такі установки не дозволяють мити задню частину тролейбуса, на якій розташовані штангоуловлювачі та інші елементи пристроїв струмознімання.

При використанні вертикальних щіток для мийки задньої частини кузова відбувається захоплювання мотузок штангоуловлювачів і спрацьовування останніх. У той же час саме задня поверхня кузова тролейбуса є найбільш забрудненою, тому що до зовнішніх джерел забруднень додається вугільний пил від зносу контактних уставок струмоприймачів.

У Науково-дослідному і конструкторсько-технологічному інституті міського господарства розроблена, а заводами об'єднання “Укркомунмаш” випускається *установка для мийки тролейбусів*, що дозволяє мити всі частини його кузова, у тому числі задню, без порушення режиму роботи штангоуловлювачів.

Установка (рис. 6.17.7) складається з п'яти щіткових, чотирьох струминних пристроїв і системи для нанесення миючого розчину.

Щіткові пристрої включають щітки: 13 - для мийки бічних поверхонь, 7 - для мийки маточин передніх і задніх коліс, 3 - для мийки задньої поверхні тролейбуса і його верхнього овалу, зібрані на рамі 12.

Струминними пристроями є стояки 6 для попереднього змочування кузова і його ополіскування. Система для нанесення миючого розчину складається з бака 5 місткістю 1 м³ і двох стояків 8 з набором форсунок, що розпорошують. При заїзді тролейбуса в мийну зону здійснюють попереднє змочування струминними пристроями кузова водою з миючими засобами. При цьому рама 11 з обертовими горизонтально розташованими щітками відведена з проїжджої частини і знаходиться у вихідному положенні.

При подальшому русі тролейбуса здійснюють мийку бічних поверхонь кузова обертовими, вертикально розташованими на поворотних рамах щітками 13. Потім тролейбус зупиняють, підводять раму 11 блоком горизонтальних щіток і роблять мийку задньої поверхні щітками 3, а маточини коліс - щітками 7. Рама 11 повертається електричним приводом 12 навколо шарнірів, укріплених на стояку 4. При цьому ролик 10 заводить мотузку струмоприймачів на дах тролейбуса і притискає її до поверхні заднього овалу даху.

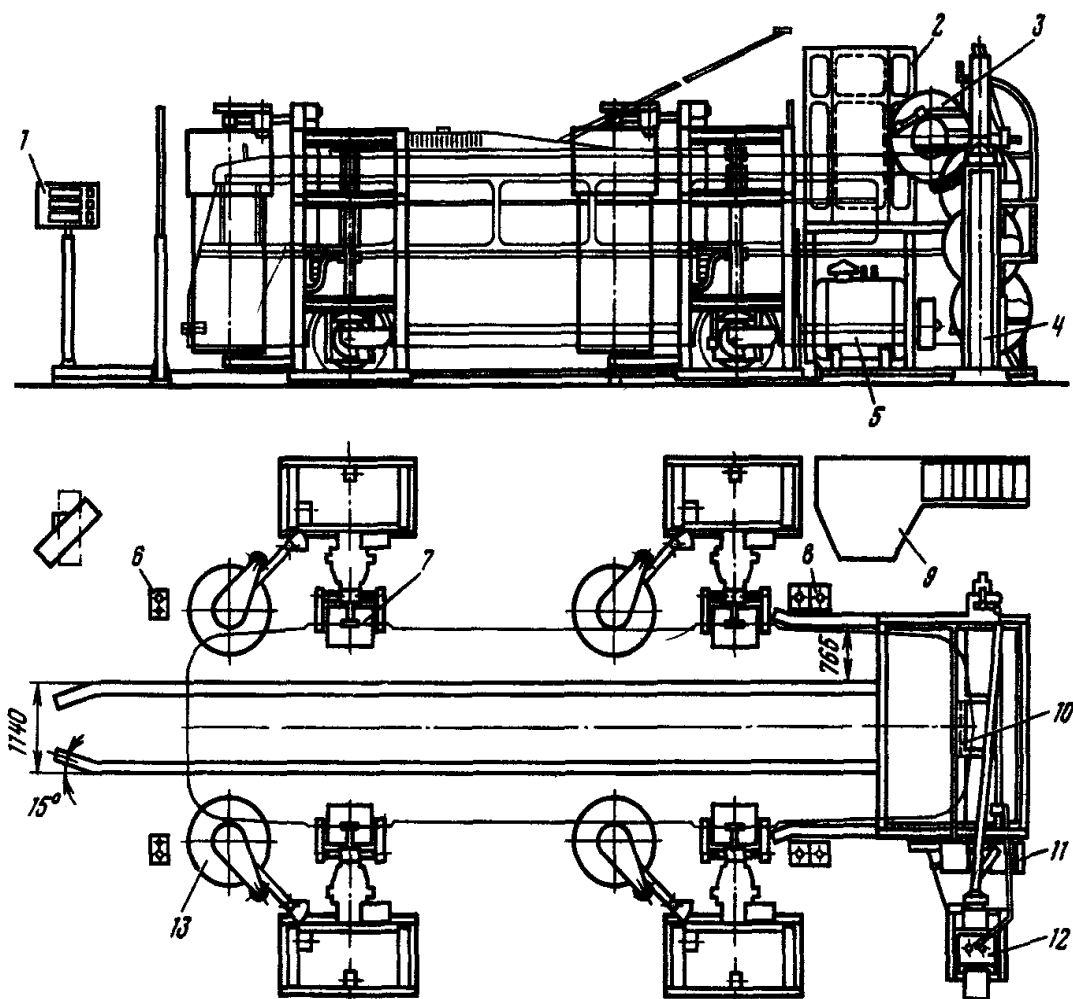


Рис. 6.17.7 – Установка для мойки троллейбусів

Укріплений на кронштейнах рами трос притискає мотузки струмоприймачів тролейбуса до заднього скла. Потім рама автоматично фіксується в робочому положенні, і щітки починають обертатися в протилежних напрямках. Напрямок обертання щіток циклічно міняється. Після закінчення циклу мийки задньої поверхні раму відводять у вихідне положення.

Одночасно з мийкою задньої поверхні здійснюють мийку дисків маточин коліс. На кожному пристрої для мийки останніх установлені по двох обертові в різних напрямках щітки. Рама, на якій установлені щітки, також обертається. Щітки 7 підводять до коліс тролейбуса. Напрямок їхнього обертання циклічно міняється. Після закінчення циклу мийки дисків маточин коліс щітки повертаються у вихідне положення. Потім тролейбус переміщується для продовження мийки бічних поверхонь. Наприкінці мийної зони передбачене ополіскування тролейбуса чистою водою.

Для передачі оператором інформації водію тролейбуса встановлене світлове табло 1 з відповідними командними написами. Керування мийним процесом здійснюється оператором з кабіни 2 керування, де розміщені пульти керування 9.

Мийну установку виготовляють як комплектно, так і у вигляді окремих блоків. Наприклад, пристрій для мийки задньої поверхні кузова може розташовуватися додатково до наявного в тролейбусних депо машинах, що мийуть тільки бічні поверхні. Положення горизонтальних щіток на рамі 11 може бути різним для різних типів тролейбусів.

Мийно-прибиральні комплекси, а також зони мийно-прибиральних робіт у цехах проведення ТО рухомого складу у відношенні ураження персоналу електричним струмом відносять до особливо небезпечних приміщень. Вони характеризуються наявністю підвищеної вологості і струмопровідних, як правило, бетонних підлог. Небезпека ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу в мийно-прибиральних комплексах при напрузі в контактній мережі 600 В посилюється постійним розбризкуванням води від мийних машин, а іноді і від шлангів ручного домивання з можливим влученням струменів води на контактний провід.

Безпечне проведення мийних робіт можна було б забезпечити при пересуванні тролейбуса зовнішньою силою, наприклад за допомогою конвеєра, що штовхає, але використання останнього вимагає додаткових витрат, а установка в депо показала низьку надійність такого способу пересування машин.

Найбільш прийнятним є застосування на ділянках мийно-прибиральних робіт зниженої напруги в контактній мережі, тому що тролейбус сам є якоюсь мірою елементом конвеєра з ковзним струмознімачем.

Використання зниженої напруги викликано також необхідністю забезпечення якісної мийки тролейбусів при проходженні мийних машин, де найкращою є швидкість менше 2 км/год., тоді як мінімальна швидкість тролейбусів на маневровій позиції при живленні від контактної мережі з номінальною напругою 600 В складає 6—7 км/год.

За умовами забезпечення повної безпеки напруга контактної мережі повинна бути 36 В, однак її вибір обумовлений ще однією умовою - можливістю тролейбуса пересуватися, тобто його тяговими властивостями. Зокрема для пересування двохосьових тролейбусів (ЗіУ-9, Тр-9, Тр-14) достатньо напруги в контактній мережі 60 В при потужності джерела 8,5 кВт; для шарнірно-зчленованих тролейбусів і тролейбусних потягів мінімальне значення потужності цих джерел живлення необхідно збільшити відповідно в 1,5 і 2 рази.

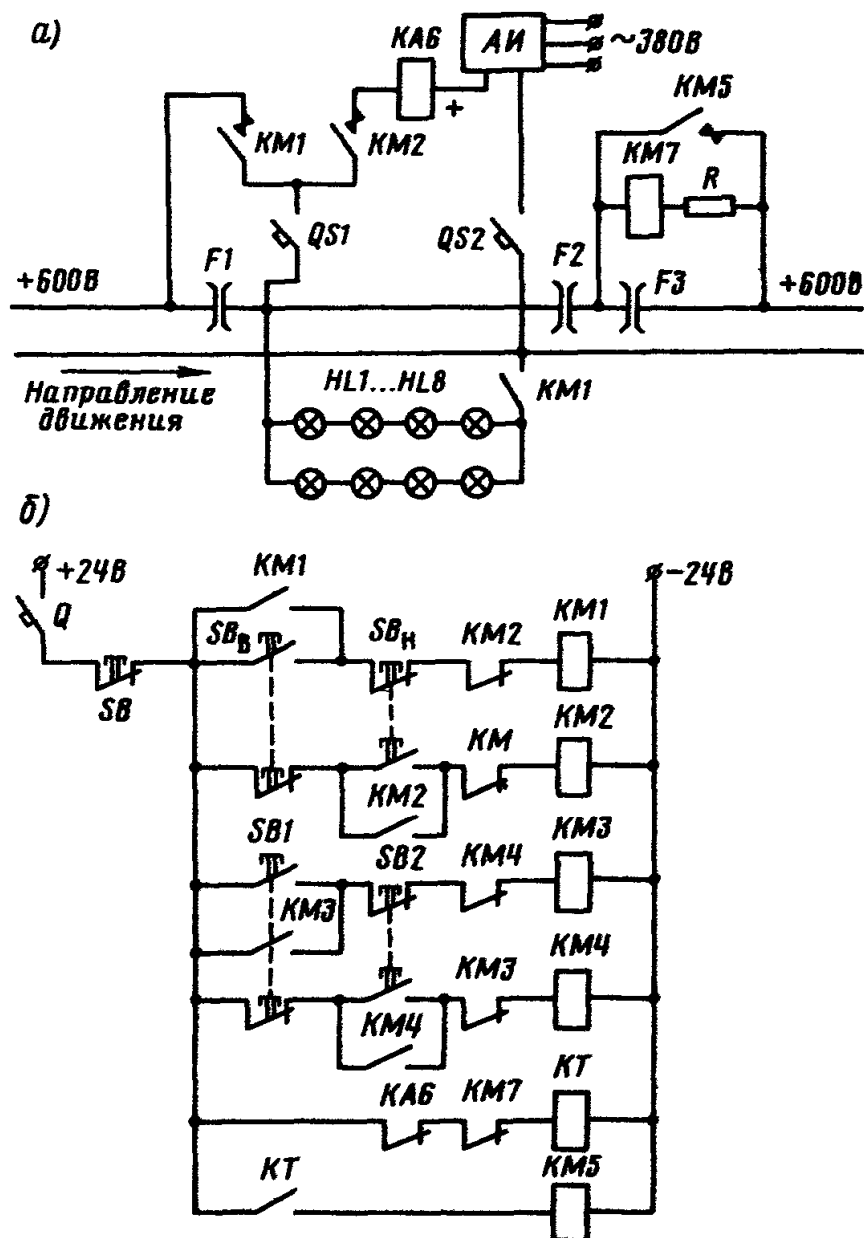


Рис. 6.17.8 – Схеми електропостачання керування апаратами системи низьковольтного електропостачання мийно-збиральних зон ліній ЦО

На рис. 6.17.8, а подана схема електропостачання мийно-прибиральної ділянки, а на рис. 6.17.8, б - схема керування апаратами. У ній використані електричні апарати (тролейбуси ЗіУ-9), однак можуть бути застосовані й інші аналогічного призначення.

Контактна мережа секційована секційними ізоляторами $F1-F3$. Керування мийною машиною і комутацією контактної мережі здійснює оператор з пульта керування. Перед початком роботи він подає на контактну мережу знижену напругу від автономного джерела АД, натискаючи на пульті керування кнопку SB_H у колі живлення котушки контактора $KM2$.

При пересуванні рухомого складу в мийному відділенні і живленні ділянки контактної мережі від джерела зниженої напруги *АД* спрацьовує струмове реле *КА6*, коло живлення котушки реле часу *КТ* розривається. Контактор *КМ5* знеструмлюється і відключає живлення перехідної ділянки контактного кола між секційними ізоляторами *F2-F3*.

Рухомий склад проїжджає пост механізованої мийки на зниженій напрузі з рівномірною швидкістю до 2 км/год. Зупинку тролейбуса, наприклад, для механізованої мийки задньої частини здійснюють розмиканням контактора *КМ2* і вимиканням роз'єднувачів *QS1* і *QS2*, чим забезпечують повне зняття напруги з контактної мережі.

При виїзді рухомого складу з мийної зони знеструмлюється реле *КА6* і своїм контактом, який розмикає, підготовляє ланцюг включення реле часу *КТ*. При перебуванні струмоприймача тролейбуса на ділянці *F2* і *F3* і натиснутій ходовій педалі водія реле *КМ7* спрацьовує і розриває контакт у колі живлення реле часу *КТ*. У такий спосіб блокується подача напруги +600 В на перехідну ділянку. При відпусканні водієм ходової педалі реле *КМ7* знеструмлюється, замикається контакт *КМ7*, одержує живлення реле часу *КТ* і з витримкою часу 1,5с. включається контактор *КМ5*, що подає напругу +600 В на ділянку контактної мережі *F2-F3*. Такий захід необхідний, щоб змусити водія у всіх випадках повернути пускову педаль у нульове положення при в'їзді на перехідну ділянку, тому що в протилежному разі (при неправильних діях водія) переїзд на ділянку з номінальною напругою і з натиснутою пусковою педаллю призвів би до різкого збільшення сили тяги, що неприпустимо за умовами безпеки руху.

Тема 18. Планування робіт із технічного обслуговування і ремонту

Розрахунок кількостей ремонтно-профілактичних заходів

Кількісною оцінкою виробничої діяльності підприємства міського електротранспорту є виробнича програма. Виробнича програма включає визначення річної кількості капітальних і середніх ремонтів а також щодобових обслуговувань, технічних обслуговувань № 1 і № 2, які передбачені чинною в Україні системою обслуговування та ремонту РС. Окремо підкреслимо важливість визначення кількості поточних (непланових) ремонтів, які суттєво впливають на ефективність роботи підприємства.

Потребу РС в капітальному ремонті можна розрахувати згідно з формулою

$$N_{kp} = \sum_{i=1}^M \frac{365n_i L_{ci}}{L_{kpi}}, \quad (6.18.1)$$

де N_{kp} – кількість транспортних засобів, які будуть направлені в капітальний ремонт протягом року;

n_i – інвентарна кількість транспортних засобів i -го типу на транспортному підприємстві;

L_{ci} – середньодобовий пробіг одного транспортного засобу i -го типу в транспортному підприємстві;

L_{kpi} – нормативний пробіг між капітальними ремонтами для транспортного засобу i -го типу;

M – кількість типів транспортних засобів.

Потребу РС в середньому ремонті можна розрахувати згідно з формулою

$$N_{cp} = \sum_{i=1}^M \frac{365n_i L_{ci}}{L_{cpi}} - N_{kp}, \quad (6.18.2)$$

де L_{cpi} – нормативний пробіг між середніми ремонтами для транспортного засобу i -го типу;

Аналогічно ремонтам розраховують кількість технічних обслуговувань №2, періодичність виконання яких задана нормативним значенням пробігу:

$$N_{TO2} = \sum_{i=1}^M \frac{365n_i L_{ci}}{L_{TO2i}} - N_{kp} - N_{cp}, \quad (6.18.3)$$

де L_{TO2i} – нормативний пробіг між ТО-2 для транспортного засобу i -го типу.

У формулах (6.18.2) і (6.18.3) кількість середніх ремонтів і ТО-2 зменшується на кількість ремонтів більш високого рівня. Це обумовлено циклічністю системи ТО та Р, яка передбачає, що кожне п'яте ТО-2 замінюється на середній ремонт, а кожний третій СР замінюється на КР.

На жаль, на деяких транспортних підприємствах не ведеться облік пробігу за типами транспортних засобів. З цієї обставини можна прийняти, що середньодобовий пробіг є рівним для усіх типів рухомого складу і його можна визначити за формулою

$$L_{ci} = L_{ci+1} = L_{ci+2} = \dots = L_{cM} = \frac{L_g}{365N}, \quad (6.17.4)$$

де L_g - пробіг усього рухомого складу за рік, км;

N - інвентарна кількість рухомого складу.

Як правило, міжоглядовий період для РС встановлюється кількістю діб. Під час визначення кількості технічних оглядів треба враховувати, що РС, який знаходиться в КР, СР та ТО-2, тривалість яких дорівнює одну добу і більше, не будуть обслуговуватися.

За цієї умови кількість обслуговувань (ЩО та ТО-1) можна визначити за формулою

$$N_{TO} = \sum_{i=1}^M \frac{N_i 365}{T_{TOi}} - N_{TO2} - N_{cp} - N_{kp}, \quad (6.17.5)$$

де T_{TOi} - нормативне значення міжоглядового періоду для щоденного обслуговування (1 доба) або ТО-1 (7 діб) для кожного типу РС.

Якщо є розрахована річна виробнича програма обслуговувань і ремонтів, то місячна визначаються діленням річної кількості на 12 місяців, а добова - на кількість робочих днів у році (приймається 252 дні).

Найбільш складним питанням є визначення кількості поточних ремонтів, які виконується за фактом відмови рухомого складу. Оскільки відмова РС є подія, що має випадковий характер, то, як було показано у модулі 5, матимемо розподілу цієї кількості. Як правило, принципове значення для вирішення питань організації відновлення РС на поточних ремонтах має їх добова кількість. За добовою кількістю визначається кількість постів, які треба мати для виконання поточних ремонтів.

Якщо прийняти, що інтервали часу між двома надходженнями у поточний ремонт мають експоненціальне розподілу, то щільність розподілу кількості поточних ремонтів за добу визначається відповідно до розподілу Пуассона.

Запитання до самоперевірки

1. Як формуються графіки виконання ТО і Р?
2. Які особливості графіку випусків рухомого складу визначає наявність в інвентарі рухомих одиниць збільшеної місткості?
3. Основні принципи планування зон щоденного обслуговування рухомого складу в депо.
4. Як забезпечується безпечне виконання робіт в зоні мийки рухомого складу?
5. Які основні заходи з механізації процесів заміни агрегатів?
6. Види технічного обслуговування та ремонту, їх призначення.
7. В чому особливості сезонної підготовки рухомого складу?
8. До якого моменту відповідальність за рухоми однуицю несе майстер ЩО?
9. На яких підставах формуються нормативи технічного обслуговування і ремонту, за якими складаються щомісячні графіки оглядів та ремонтів?
10. Перелічити споживачів електроенергії постійного струму, що використовується на технологічні потреби.
11. Пояснити порядок визначення чисельності працюючих за даними технологічних карт, де зазначені трудомісткості операцій.

Модуль 7. Технічна діагностика

Тема 19. Теоретичні основи технічної діагностики

Завдання технічного діагностування

Технічна діагностика — це наукова дисципліна, що досліджує форми прояви відмов у технічних пристроях і розробляє методи їхнього виявлення, а також принципи конструювання діагностичних систем. Основні завдання технічної діагностики можна сформулювати в такий спосіб:

- побудова математичних моделей об'єктів діагностики;
- розробка програм перевірки об'єктів;
- вибір чи створення технічних засобів перевірки стану об'єктів.

Таким чином, вирішення діагностичної задачі передбачає необхідність характеристик трьох видів:

- об'єктів і явищ, що виступають у ролі причин відхилень;
- об'єктів і явищ, що виконують роль наслідків цих причин (тобто самих відхилень);
- процесу виявлення їхніх зв'язків.

Діагностування є в даний час одним з основних напрямків удосконалення системи ремонту техніки, підвищення її надійності в експлуатації, тому що воно сприяє виявленню відмов випадкового характеру в міжремонтні періоди.

Застосування засобів й методів технічного діагностування дозволяє безперервно чи в дискретні моменти часу перевірити стан вхідних і вихідних параметрів РС, дає змогу ставити РС в ремонт відповідно до його технічного стану. Це сприяє різкому зменшенню кількості відмов між плановими видами ремонтів, підвищенню ступеня використання ресурсу складових частин і деталей РС та зниженню витрат на запчастини й матеріали під час ремонту, підвищенню економічності роботи рухомого складу і його безпеки.

Поняття і визначення

Об'єктом технічного діагностування може бути як трамвай або тролейбус в цілому, так і їх складова частина, технічний стан якої потребує визначення. Під технічним станом слід розуміти сукупність властивостей об'єкта, які змінюються у процесі виробництва, експлуатації і характеризується у певний момент ознаками, що встановлені в нормативно-технічній документації. Таким чином, технічне діагностування - це процес визначення технічного стану об'єкта діагностування із заданою точністю. Відрізняють загальні схеми діагностування, об'єктом яких є виріб в цілому (наприклад, трамвай або тролейбус) і локальні призначені для діагностування складових частин виробу.

Засоби технічного діагностування можуть бути вмонтованими, зовнішніми, універсальними, спеціалізованими. Вмонтований пристрій входить до конструкції транспортного засобу і за необхідністю може виконувати безперервне діагностування у процесі функціонування стану технічного засобу. Зовнішній пристрій існує окремо від об'єкта і призначений для діагностування в дискретні моменти часу з встановленою періодичністю. Універсальні засоби використовуються для об'єктів діагностування різної конструктивної будови (наприклад, трамвайний вагон і тролейбус). На відміну від нього спеціалізований засіб застосовується тільки для однотипних об'єктів (наприклад, для трамвайного вагону таким засобом є пристрій контролю дії рейкових гальм).

Технічний стан за допомогою тих чи інших засобів діагностування визначається виміром сукупності діагностичних параметрів, які встановлені для цього об'єкта діагностування. Під параметром діагностування загалом розуміють будь-яку характеристику, яка відображає фізичну величину. Вхідні параметри характеризують вплив на об'єкт діагностування зовні і поділяються на ті, що задані (тести) й зовнішні збурення.

Вихідні параметри характеризують реакцію об'єкта діагностування на вплив тестів. До внутрішніх параметрів відносяться структурні, ті що характеризують структуру об'єкта діагностування, і функціональні, що характеризують процеси, що відбуваються в ньому.

Параметри об'єкта в процесі експлуатації під впливом різноманітних факторів змінюються. Ця зміна, як правило, являє собою випадковий процес. Під номінальним параметром розуміється його кількісна міра, встановлена в нормативно-технічній документації на об'єкт діагностування, що характеризує його працездатний стан. Граничний параметр установлюється нормативно-технічною документацією за умови забезпечення мінімуму витрат, пов'язаних з експлуатацією та технічним обслуговуванням об'єкта, чи за умови забезпечення його максимальної безвідмовності за встановлений період. При досягненні граничного параметра подальша експлуатація об'єкта неприпустима. Параметри між нижнім й верхнім межами є допустимими.

Залежно від застосовуваного алгоритму діагностування і пред'явлених технічних вимог з усіх параметрів (ознак) технічного стану вибирають діагностичні параметри, які контролюються у процесі діагностування об'єкта, сукупність яких дозволяє знайти пошкодження із заданою глибиною пошуку дефекту.

Діагностичні параметри (ознаки) повинні мати наступні властивості:

- однозначність, яка характеризується тим, що зміні параметра технічного стану об'єкта діагностування відповідає цілком визначена зміна діагностичного параметра;
- відтворення, що характеризується можливістю виміру та одержання аналогічних результатів на ідентичних об'єктах діагностування незалежно від засобів діагностування, місця і способу установки датчика на об'єкті й параметрів довкілля;
- селективну здатність, тобто можливість розділяти пошкодження окремих елементів об'єкта діагностування на основі специфічного характеру або зміни визначених значень діагностичного параметра;
- чутливість, обумовлену відношенням можливої зміни діагностичного параметра до зміни параметра технічного стану;
- інформативність, що характеризується кількістю інформації, яку одержують під час використання даного діагностичного параметра.

При виборі діагностичних параметрів враховують також вартість діагностування.

До основних питань, що підлягають вирішенню при впровадженні

технічної діагностики, слід віднести розробку методів, технічних засобів й стратегії (програми) діагностування.

Зміст першої задачі і послідовність її вирішення зводяться до формалізації моделі РС (або його складової частини) як системи, що функціонує, до її математичного опису, виділення вхідних і вихідних параметрів, їх взаємного зв'язку та визначення сукупності параметрів, що контролюються; розробки методики й засобів апаратного аналізу параметрів. Питання розробки методів і технічних засобів діагностування РС, автоматизації процесу встановлення діагнозу знаходяться поки що у стадіях розробки, особливо для трамвайних вагонів. Протягом останніх років на міському електротранспорті застосовується діагностичне обладнання для діагностування окремих систем тролейбусів (наприклад гальмівних систем).

Розробка стратегії діагностування включає такі завдання, як створення математичних моделей для визначення режимів і періодичності встановлення діагнозу за відповідними обмеженнями й критеріями оптимальності. Розглянемо стисло окремі питання щодо теоретичних та методологічних положень діагностування РС.

Відображення технічного стану системою діагностичних ознак

Працездатність РС визначається якістю його виготовлення (надійністю, що закладена під час його виготовлення) і зносом (старінням) складових частин і деталей у процесі експлуатації, що визначається умовами експлуатації та системою ремонтів. РС являє собою складну систему, що характеризує множина вхідних, внутрішніх вихідних параметрів, відсутність достатньої інформації про його внутрішній стан і неявно виражена структура. Основним джерелом кількісної інформації про функціонування РС в умовах експлуатації є вимірний інструмент, який дозволяє отримати параметри вузлів, підсистем і РС в цілому, а також кількісну оцінку умов експерименту. Стан РС можна визначити шляхом аналізу його вихідних і внутрішніх параметрів, у варіаціях якого закладена вся інформація про стан підсистем. Виміри відхилень параметрів дають можливість судити про стан РС, але для встановлення причин ненормальних відхилень необхідно знати інтенсивність впливу характеристик окремих підсистем на параметри. Наявність зв'язку між окремими параметрами (у тому числі між вихідними й внутрішніми) дозволяє під час постановки діагнозу вимірювати не всю безліч параметрів, що характеризує стан системи і її елементів, а тільки мінімальну необхідну їх сукупність.

Для визначення мінімальної кількості параметрів, що контролюються,

існують різні алгоритми, під час використання яких, крім критерію інформативності кожного параметра, необхідно враховувати такі критерії, як доступність контролю й виміру, вартість апаратури і час, необхідний для виміру.

Технічний стан складової частини (деталі) визначається чисельними величинами вибраних параметрів X . Нехай $x(t)$ - монотонна випадкова функція часу (пробігу) l , що відповідає контролюваному параметра, $X_{e,e}$ - критичний рівень параметра (межа бракувального допуску), перетинання якого реалізаціями випадкового процесу призводить до відмови вузла, а $X_{e,p}$ - докритичний рівень (границя ремонтного допуску) такий, що інтервал $\Delta X = X_{e,e} - X_{e,p}$ визначає упереджувальний допуск.

Область $(0, X_{e,p})$ зміни випадкової функції зветься справним станом, область $(X_{e,p}, X_{e,e})$ - станом профілактичних ремонтів (регулювань, замін) й, нарешті, область $(X_{e,e}, \infty)$ - непрацездатним станом (відмовою).

Прийmemo наступні допущення щодо випадкової функції $x(t)$. Нехай $P(0 < x(0) < X_{e,p}) = 1$, тобто складова частина, що має напруцювання $t=0$, знаходиться в справному стані з імовірністю одиниця.

У момент $t=T$ випадковий процес $x(t)$ відповідає справному стану з імовірністю

$$p_1(T) = P\{0 < x(T) < X_{e,p}\}, \quad (7.19.1)$$

стану профілактичних замін - з імовірністю

$$p_2(T) = P\{X_{e,p} < x(T) < X_{e,e}\}, \quad (7.19.2)$$

і непрацездатному стану - з імовірністю

$$p_3(T) = P\{X_{e,e} < x(T) < \infty\}. \quad (7.19.3)$$

Таким чином, розподілу процесу згідно із станом складових частин підкоряється умові нормування

$$p_1(T) + p_2(T) + p_3(T) = 1.$$

Метою діагностування є встановлення стану складової частини шляхом виміру параметра X , що може здійснюватися в окремі моменти чи безперервно. Згідно з цією ознакою розрізняють два види діагностування: безперервне й дискретне, які відрізняються за вартістю виконання і техніко-економічною ефективністю.

Параметр, що контролюється, можна визначити різними способами, основними з них є:

- безпосереднє (пряме) вимірювання;
- непряме визначення шляхом виміру взаємозв'язаного параметра;
- прогнозування на підставі кореляційної або функціональної залежності параметра від часу.

Перші два способи використовують як для працюючого РС, так і під час його ремонту або обслуговування. В останньому випадку можливе часткове або повне розбирання складової частини, а також виміри після збирання. Для безпосереднього або непрямого виміру застосовують як серійні, так і спеціальні зразки вимірювальної техніки. Як правило, при цьому використовують електричні методи виміру неелектричних величин.

У різних галузях техніки використовують непрямі методи визначення технічного стану машин (спектральний аналіз мастил, віброакустичні методи і т.п.).

Основним питанням при виборі стратегії діагностування є визначення періодичності встановлення діагнозу. Залежно від специфіки складової частини, що діагностується, та прийнятого критерію оптимальності (наприклад заданий рівень безвідмовності або мінімум витрат на виконання діагностування) можуть застосовуватися різні моделі.

Прийmemo, що в результаті статистичного дослідження отримано математичний опис випадкового процесу зміни параметра $X(t)$, відомі значення $X_{в.р}$, $X_{в.з}$ і міжремонтний період T_p .

За цих умов треба визначити момент діагностування T_d при заданому рівні безвідмовності. Для цього треба знайти зв'язок упередження діагностування $\tau_d = T_p - T_d$ з упереджуючим допуском $\Delta X = X_{в.е} - X_{в.р}$.

Перевірка технічного стану складової частини виконує роль своєрідного екрана: прозорого за умови, що $X(T) < X_{в.р}$ і поглинаючого при $X(T) > X_{в.р}$ (рис.7.19.1). Момент перевірки повинен бути вибраний таким чином, щоб $X_{в.р} < x(T_d) < X_{в.д}$. У роботі [23] доведена наступна теорема для моделі екранів:

$$\int_{T_1}^{T_2} f(t, x_{в.р}) dt = \int_{X_{в.р}}^{x_{в.з}} \varphi^*(x, T_2) dx. \quad (7.19.4)$$

Горизонтальний екран ab буде поглинаючим при наявності безперервного контролю або індикації досягнення підкритичного рівня $X_{e.p.}$. У такому випадку момент T_1 пересічення рівня процесом $x(t)$ стає відомим, і рівняння (7.19.4) можна застосовувати для визначення T_2 , тобто коригування міжремонтного терміну $T_p = T_2$.

154

Тема 20. Діагностичні процедури та обладнання

Діагностування тягових двигунів

На тролейбусах, що експлуатуються в Україні, застосовують тягові електродвигуни (ТЕД) постійного струму з послідовним (Тр-9, Тр-14, Тр-15, ДАК-317, ДАК-217, К12.03, К12.04) і змішаним (ЗіУ-9, ЗіУ-10, ПМЗ Т1, ПМЗ Т2, ЛАЗ 52522) збудженням.

У процесі роботи ТЕД відбувається деградація параметрів ряду його елементів, що в кінцевому підсумку призводить до наступних найбільш значущих негативних наслідків:

- втрати працездатності ТЕД;
- наявності на корпусу двигуна небезпечної для пасажирів і персоналу напруги;
- збільшеного проти природного темпу зношування окремих елементів ТЕД;
- підвищених вібрацій з негативним впливом на комфортабельність поїздки і безвідмовність роботи інших елементів тролейбуса, що ушкоджуються вібрацією двигуна.

У тролейбусах, де застосовані ТЕД зі змішаним збудженням, внаслідок часткового міжвиткового замикання паралельних обмоток знижується ефективність електродинамічного гальма. Це змушує водія застосовувати механічне гальмо при догальмовуванні з більш високих швидкостей, інтенсифікуючи тим самим зношення деталей гальмівних механізмів. Таким чином, технічний стан ТЕД впливає на рівень обслуговування пасажирів, а саме на безвідмовність машин, комфортабельність, електробезпечність, економічні показники.

Основна частина відмов і попереджувальних технічних впливів припадає на колекторно-щітковий вузол, ізоляцію обмоток якоря і полюсів, підшипники. Крім того, частину ТЕД демонтують з машини через підвищену вібрацію.

У колекторно-щітковому вузлі найбільш інтенсивно відбувається знос пари тертя електрощіток і пластин колектора.

Математичне сподівання і середнє квадратичне відхилення зносу пластин колектора і електрощіток у функції пробігу змінюються практично лінійно [24]. Знос колекторних пластин приводить до того, що електрощітки, які переміщаються в поздовжньому напрямку по осі якоря в рамках зазорів у щіткотримачах, своїми краями періодично попадають на незношену ділянку колектора. У результаті різко зменшується площа прилягання електрощітки до колектора, зростає щільність струму, температура нагрівання, погіршується комутація.

Крім того, збільшений знос колекторних пластин може призвести (при осьовому переміщенні якоря, що перевищує зазор між електрощіткою і щіткотримачем по ширині електрощітки) до відколів по краях щітки або її заклинюванню, що також збільшить іскріння під щітками і погіршить температурний режим колектора. З цієї причини відбуваються і механічні пошкодження щіткового вузла з відмовою ТЕД.

Експериментальними дослідженнями партій ТЕД тролейбусів різних типів встановлено, що допустимий знос колекторних пластин за глибиною не повинен перевищувати *0,3 мм*. У протилежному разі ТЕД підлягає демонтажу, а колектор - проточці і при необхідності продорожці. Зміна стану колектора в процесі роботи ТЕД характеризується не тільки зносом пластин за глибиною в місцях контакту з щітками. Спостерігається також зростаюче відхилення кола колектора від правильної форми - поява еліпсності, хвилястості. Такі зміни викликаються деформацією окремих пластин через теплові й механічні впливи, вібрацією вала якоря, коливальними явищами у магнітній системі при збільшенні зазорів у підшипниках і т.п. Усе це призводить до погіршення комутації, якість якої тісно пов'язана з рівнем іскріння і виділенням тепла в зоні струмознімання. Від цих показників залежить знос деталей, що беруть участь у передачі струму, а їхній стан, у свою чергу, безпосередньо впливає на якість комутації. Однією з причин погіршення комутації ТЕД і підвищеного темпу зношення струмознімальних елементів є відхилення натискання електрощітки від оптимального значення. Як встановлено в процесі підконтрольної експлуатації, натискання пружин електрощіток ТЕД зменшується з пробігом практично лінійно [26, 27].

При зниженому натисканні електрощіток збільшується їх нагрівання, а також нагрівання пластин колектора в зв'язку із зростаючим іскрінням при підскакуванні електрощітки, а при підвищеному натисканні (установці пружин із завищеною твердістю) до нагрівання цих же елементів, що зростає через збільшене механічне тертя.

У процесі роботи ТЕД відбувається також знос підшипників вала якоря. Проникнення в підшипники пилу, дрібних твердих часток, виділення продуктів зносу приводять до поступового стирання робочих поверхонь внутрішнього і зовнішнього кілець підшипників, об'ємного зносу роликів і кульок, а також сепараторів. У результаті збільшується радіальний зазор у підшипниках і змінюється положення якоря відносно полюсів, а саме повітряний зазор збільшується між якорем і верхніми полюсами і, відповідно, зменшується між якорем і нижніми полюсами. Ексцентричне положення якоря призводить до

двох негативних наслідків - зміни магнітної індукції під полюсами і виникнення сил однобічного магнітного притягання.

Виконані дослідження [26] свідчать, що збільшення радіального зазору в підшипниках до $0,5\text{ мм}$ призводить до виникнення сили однобічного магнітного притягання в ТЕД тролейбусів сімейства “Шкода” у $4900\text{--}5200\text{ Н}$, а в ТЕД тролейбусів ЗіУ-682 – $5300\text{--}5550\text{ Н}$ чи до збільшення сили приблизно на 1000 Н на кожні $0,1\text{ мм}$ ексцентриситету якоря.

Значні динамічні зусилля виникають також через неврівноваженість (дисбаланс) якоря. Як правило, причинами дисбалансу є неякісне балансування якоря і збірка ТЕД. Дисбаланс зростає внаслідок засмічення вентиляційних каналів пилом і продуктами зносу елементів колектора. Викликані дисбалансом якоря коливання ТЕД характеризуються низькими частотами, порівняно великими амплітудами переміщень і малими прискореннями. Амплітуда вібрації в цьому випадку залежить від неврівноваженої маси, кутової швидкості обертання вала і твердості кріплення ТЕД. Природно, вплив цих факторів на вібрацію тим вище, чим більше радіальний зазор у підшипниках. Вплив радіального зазору і дисбалансу якоря на рівень вібрацій ТЕД показаний на рис. 7.20.1, на якому наведена спектрограма віброшвидкостей тягового електродвигуна ДК-210.

Вібрація ТЕД, що виникає внаслідок зносу підшипників і дисбалансу якоря, посилюється в міру появи люфтів і дисбалансу карданного вала, що призводять, з одного боку, до зниження надійності самого ТЕД (особливо колекторно-щіткового вузла і підшипників), з іншого - впливає на кузов машини, електричні апарати, з'єднання проводів, плати ТІСУ та інші вузли тролейбуса.

У процесі роботи ТЕД відбувається також погіршення властивостей ізоляції обмоток якоря і полюсів, що є складним багатфакторним процесом. Зміна властивостей ізоляції в часі (“старіння”) виявляється в зміні структури, окислюванні й зникненні компонентів компаундних заповнювачів, а також у втраті механічної міцності з утворенням тріщин.

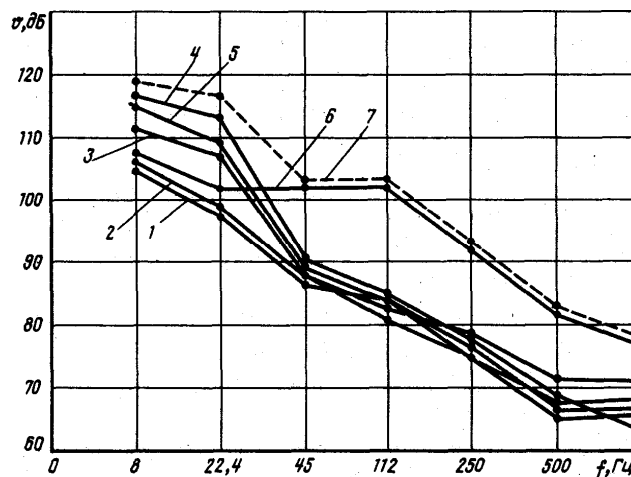


Рис. 7.20.1 – Спектрограми віброшвидкостей корпусу тягового електродвигуна:

- 1 – еталонна; 2—при зазорі в підшипниках 0,1 мм;
 3, 4, 5—при вантажі небалансу якоря відповідно 0,08, 0,10 і 0,13 кг;
 6—при граничному зазорі в підшипниках, 7—при вантажі небалансу якоря 0,13 кг і граничному зазорі в підшипниках

Ізоляція ТЕД тролейбусів працює в надзвичайно важких умовах. Двигуни розташовані під підлогою тролейбуса на відстані близько 200 мм від проїжджої частини. Забруднення, вода з хімічно активними речовинами, сіль, пісок в осінньо-зимову і пил у літню пору захоплюються вентиляторами двигуна й осідають разом з продуктами зносу колекторно-щіткового вузла на обмотках, ізоляторах, проводах. Інтенсивне внутрішнє зволоження ізоляції продовжується і в непрацюючих ТЕД. У період охолодження двигуна тиск у порах і капілярах ізоляції дещо нижче атмосферного, тому волога проникає в найменші пори і капіляри, що активізує і прискорює процеси старіння і руйнування ізоляції електродвигуна, а також забруднюються вентиляційні канали, внаслідок чого порушується тепловий режим обмоток. Вказані негативні моменти діють разом з безупинними коливаннями струмів і напруг, у тому числі атмосферних перенапруг і в процесі електродинамічного гальмування при несправностях у ланцюгах управління. Найбільш важкі наслідки викликаються пробоем ізоляції між двома секціями якоря, що лежать в одному пази в двох різних шарах. У цьому разі замкнутою накоротко є половина всієї обмотки якоря, у зв'язку з чим у всіх секціях короткозамкнутої обмотки створюється значний струм. У результаті виникає коловий вогонь на колекторі, що швидко виводить ТЕД з ладу.

Дещо інші наслідки виникають при пробіі ізоляції поряд розташованих витків обмоток збудження. Так, в електродвигунах змішаного збудження, що

застосовуються на тролейбусах типу ЗіУ, міжвиткове замикання паралельних обмоток призводить до зменшення магнітного потоку Φ , як наслідок, до зниження обертового моменту ТЕД при одному і тому ж струмі якоря. Найбільш негативні наслідки міжвиткового замикання обмоток збудження виявляються при електродинамічному гальмуванні внаслідок зниження гальмівного моменту.

Як показують результати підконтрольної експлуатації тролейбусів, зміна параметрів технічного стану ТЕД має монотонний характер, і залишковий ресурс елементів ТЕД може прогнозуватися за результатами контролю параметрів. Виняток складає ізоляція обмоток ТЕД, для прогнозування залишкового ресурсу якої не вдається створити достатньо ефективних методів і засобів.

До параметрів, що характеризують технічний стан ізоляції, відносять: опір ізоляції, зволоженість, електричну міцність, діелектричну проникність, тангенс кута діелектричних втрат, частоту внутрішніх розрядів, коефіцієнт теплопровідності.

У тролейбусних депо систематично вимірюють і реєструють один параметр - опір ізоляції. Обробка даних про опір ізоляції ТЕД з різним напруженням показує, що опір (як математичне сподівання, так і середнє квадратичне відхилення) не має функціонального зв'язку з напруженням. З цієї причини параметр може характеризувати лише поточний стан ізоляції, і використовувати його як прогнозуєчий неправомірно.

Зволоженість ізоляції також є параметром її поточного стану. Більш об'єктивний стан ізоляції, в тому числі її ресурс, характеризує електрична міцність ізоляції, яка визначається за пробивною напругою але цей метод контролю не застосовується до ТЕД. На залізничному транспорті досліджені методи й засоби контролю, які не руйнують ізоляцію і дозволяють прогнозувати технічний стан ізоляції ТЕД постійного струму [27], конструктивне виконання якого близьке до ТЕД тролейбусів. На залізничному транспорті запропонований метод, заснований на аналізі кривої струму, що протікає крізь багатошарову ізоляцію при прикладенні до неї випробувальної напруги пульсуючого постійного струму. При впливі на ізоляцію кожної хвили випрямленої, однонапівперіодної напруги струм, що протікає в ній, має дві складові, одна з яких представляє струм електричного зміщення (ємнісний), обумовлений ємністю ізоляції, а друга - струм провідності (витоку). При невисоких напругах через ізоляцію протікає в основному ємнісний струм, а з підвищенням напруги починає переважати струм провідності. Відношення

струму зміщення до струму провідності при заданій напрузі може бути використано як параметр технічного стану ізоляції.

Експериментальними дослідженнями в Науково-дослідному і конструкторсько-технологічному інституті міського господарства (НДКТІ МГ) встановлено, що для реалізації цього методу треба прикладати до обмоток ТЕД напругу до 3 кВ. Робити це безпосередньо на тролейбусі неприпустимо за умовами техніки безпеки. Такий контроль можна практикувати тільки на випробувальних ділянках в ремонтних відділеннях депо. З урахуванням наведеної ситуації варто визнати доцільним застосувати змішану стратегію управління технічним станом ТЕД - за результатами контролю параметрів і напрацювання.

За напрацюванням ТЕД його слід демонтувати для очищення, профілактичного просочення ізоляції з наступним покриттям водостійкими емалями. У проміжках між запобіжними впливами ТЕД може бути демонтований тільки у випадку, коли хоча б один з параметрів технічного стану досяг граничного значення, тому що ресурс роботи ізоляції до її ремонту значно вище ресурсу працездатності колекторно-щіткового вузла. Демонтаж ТЕД практично у всіх випадках доцільно здійснювати за результатами контролю параметрів і прогнозування ресурсу колекторно-щіткового вузла, підшипників або рівня вібрації.

Просочення ізоляції треба робити при одному з ремонтів ТЕД з відновлення контрольованих параметрів.

Коротко вкажемо на методи й засоби контролю деяких параметрів ТЕД, розроблені в НДКТІ МГ. Параметри, що характеризують знос колектора (виробіток, биття), вимірюють, застосовуючи пристрій типу ПКІД-М (рис. 7.20.3). Пристрій кріплять до кістяка електродвигуна в крайки колекторного люка, а штангу індикатора часового типу встановлюють на робочу поверхню колектора. Вимір биття колектора роблять на роликівому стенді, за допомогою якого якір ТЕД повертається у процесі виміру. Биття колектора обчислюють як різницю найбільшого і найменшого відхилення стрілки індикатора при обертанні якоря. Допустиме значення биття ТЕД тролейбусів усіх типів не більше 0,1 мм.

Виробіток колектора визначають при переміщенні штанги індикатора від одного кінця колектора до іншого уздовж поверхні колекторної пластини. Базовим рівнем для відліку виробітку є крайні ділянки колектора, що не перекриваються електрощітками. Виробіток колектора визначають за найбільшим відхиленням стрілки індикатора.

Для виміру радіального зазору в підшипниках ТЕД використовують пристрій типу ПІРЛ, що включає магнітний штатив (безконтактну магнітну педаль типу ПБМ-56), систему ламких важелів і індикатор годинникового типу. Пристрій кріплять за допомогою магнітного штатива на кістяку електродвигуна, а штангу індикатора встановлюють вертикально на доступну ділянку вихідного кінця вала ТЕД.

Потім пристрій закріплюють на протилежному кінці кістяка електродвигуна, а штангу індикатора вертикально розташовують на поверхні колектора (при вимірі зазору підшипника з боку колектора).

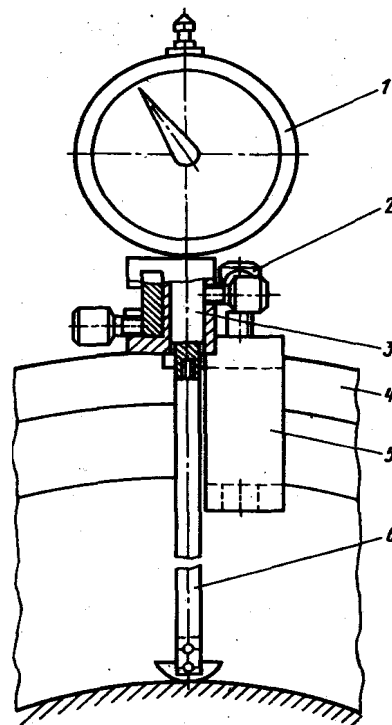


Рис. 7.20.2 – Пристрій типу ПКІД – М для контролю параметрів ТЕД:

1 – індикатор, 2 – фіксуючий пристрій, 3 – направляючі,
4 – статор ТЕД, 5 – корпус, 6 – штанга

У процесі вимірів до двох верхніх додаткових полюсів короткочасно подають напругу від регульованого низьковольтного джерела. Якір ТЕД піднімається електромагнітною силою додаткових полюсів при струмі близько 200А. Радіальний зазор відповідного підшипника визначають найбільшим відхиленням стрілки індикатора, поділеним на $\cos 45^\circ$ (0,707). Значення радіального зазору, що допускається, підшипників ТЕД тролейбусів ЗіУ-9 - 0,3 мм, тролейбусів Тр-9, Тр-14 - 0,5 мм.

Вимір рівня вібрації ТЕД здійснюють на роликовому стенді з використанням приладу з датчиками віброприскорення.

Якість комутації інтегрально визначає стан деяких параметрів і є об'єктивною оцінкою колекторно-щіткового вузла, магнітної системи та інших елементів ТЕД.

Контроль якості комутації роблять на стенді роликового типу. При цьому момент, що розвивається ТЕД, сприймається і контролюється стендом роликового типу, а струм ТЕД контролюється амперметром пульту водія, або амперметром, встановленим на секційованій ділянці контактної мережі.

Комутація вважається нормальною, якщо при номінальному струмі електродвигуна під краєм електрощітки відсутні або спостерігаються іскри білого чи блакитно-білого кольору невеликого розміру («точкове іскріння»).

При наявності витягнутих іскор жовтуватого відтінку комутацію визнають незадовільною, і ТЕД повинен бути продіагностований більш глибоко.

Контроль стану ізоляції виконують шляхом виміру її опору. Погіршення ізоляційних властивостей обмоток з позиції відновлювальних робіт можна розділити на дві групи: зниження опору ізоляції через її зволоження або забруднення; зниження опору незволоженої ізоляції до неприпустимих значень унаслідок старіння або її механічних пошкоджень.

Якщо в другому випадку відновлення ізоляції може бути виконано тільки при розбиранні ТЕД, то в першому необхідні властивості ізоляції можуть бути відновлені сушінням ТЕД без його демонтажу з тролейбуса.

Досить інформативним параметром, що характеризує ступінь зволоження ізоляції, є коефіцієнт абсорбції K_a . Його визначають як відношення опору ізоляції R_{60} через 60с з моменту прикладення випробної напруги до значення опору R_{15} цієї ж ізоляції через 15с, тобто $K_a = R_{60}/R_{15}$. Струм, що проходить через ізоляцію в часі при прикладанні напруги від мегомметра, має вид, поданий на рис. 7.20.3. Для чистої і сухої ізоляції струм I_a значно перевершує струм I_y , тобто значення K_a більше одиниці (до 2 і більше), тому що

$$K_a = R_{60}/R_{15} = (I_a + I_y)/I_y = 1 + I_a/I_y.$$

Значне зволоження ізоляції, особливо її внутрішніх шарів, чи поверхнєве забруднення викликає різке збільшення струму I_y , в результаті чого значення I_a

знижується майже до нульового, тобто коефіцієнт K_a стає близьким до одиниці.

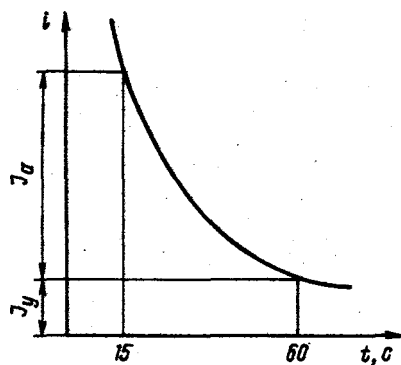


Рис. 7.20.3 – Зміна струму витоку i за час t .

Вимір коефіцієнта K_a партії ТЕД на електротехнічній ділянці цеху ремонтів після ретельного сушіння двигунів показує, що коефіцієнт абсорбції сухої ізоляції ТЕД знаходиться в межах $1,24—1,5$. Ізоляцію ТЕД з $K_a < 1,2$ слід вважати зволоженою і піддавати її сушінню.

Вимір коефіцієнта абсорбції можна робити за допомогою мегомметра Ф-4100, в якому передбачена сигналізація інтервалів у 15 і 60 с.

Для відновлення зволоженої ізоляції ТЕД без демонтажу його з машини в НДКТІ МГ розроблений пристрій типу ПВІ-269 (рис. 7.20.4). Він являє собою переносний теплоагрегат масою до 30 кг, який підігріває повітря при встановленні на відкритий люк ТЕД. Система змінних насадок дозволяє використовувати пристрій для відновлення ізоляції ТЕД усіх типів тролейбусів і трамваїв. Тепле повітря температурою до 80°C і обсягом $900 \text{ м}^3/\text{год}$, проходячи через електричну машину, рівномірно нагріває її, висушуючи ізоляцію обмоток статора і ротора. Сушіння здійснюють з періодичним контролем відношення $R60/R15$.

Застосування ПВІ дає річний економічний ефект більше 4,0 тис. грн. на парк із 200 тролейбусів. Це досягається за рахунок того, що за існуючої технології ТЕД зі зволоженою ізоляцією демонтують з машини і сушать у стаціонарній камері. Час, затрачуваний тільки на демонтаж ТЕД із тролейбуса і наступну установку його, займає згідно з нормативами 5,3 люд. год, у той же час при відновленні ізоляції за допомогою ПВІ трудовитрати не перевищують 0,25 люд. год, а сам процес відновлення займає 1,5—4 год. залежно від стану ізоляції.

Крім поглибленого діагностування, тягові електродвигуни піддають візуальному контролю на ТО з одночасним виконанням профілактичних операцій, змащення, кріпильних робіт, чищення поверхні ізоляторів щіткотримачів і, при необхідності, поверхні колектора. Чищення колектора ТЕД у більшості депо здійснюють при «вивішеному» ведучому мосту, періодичному підключенні ТЕД до напруги контактної мережі. З меншою витратою праці і більш безпечно чищення (шліфування) поверхні колектора можна здійснити на роликовому стенді при обертанні роликів стенда з невеликою швидкістю. Особливо ефективним профілактичним впливом є відсмоктування пилу з одночасною продувкою стиснутим повітрям з протилежної сторони. Очищення від пилу колекторно-щіткового вузла і вентиляційних каналів ТЕД і інших високовольтних

електричних машин найкраще робити з використанням стаціонарного пиловідсмоктуючого агрегату, який встановлений в окремому приміщенні, з підключенням повітряних каналів до ліній технічного обслуговування.

Під час огляду ТЕД контролюють стан поверхні колектора, а саме колір пластин, ступінь і характер їх забруднення. Цей показник дозволяє побічно, але досить впевнено оцінити якість комутації і вихід за припустимі межі деградуєчих параметрів. Ефективність суб'єктивного методу діагностування ТЕД та інших електричних машин може бути підвищена, якщо застосовувати необоротні термоіндикатори.

Термоіндикатори плавлення являють собою хімічну речовину, виконану у вигляді олівця або фарби, що наноситься на поверхню, температура якої підлягає контролю.

Термоіндикатори практично не мають маси. Вони можуть наноситися не тільки на нерухомі, але й на обертові елементи електричних машин і апаратів - обмотки, струмопровідні елементи, корпуси підшипників та ін. На контрольовану поверхню наносять той індикатор, критична температура якого дорівнює припустимій температурі нагрівання. При візуальному огляді електричної машини про порушення теплового режиму судять по зміні кольору індикатора. Це є підставою для більш детального обстеження машини з пошуком конкретної причини на рівні елементів.

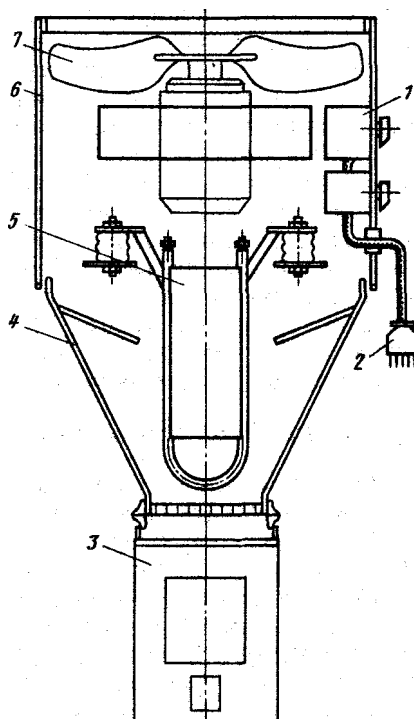


Рис. 7.20.4 – Пристрій типу ПВІ –269 для відновлення ізоляції електричних машин:

1 – пакетний вимикач, 2 – видка чотирьох полюсна, 3 – насадка, 4 – сопло, 5 – нагрівач, 6 – кожух, 7 – вентилятор

Слід зазначити, що процеси втрати працездатності інших високовольтних електричних машин (електродвигунів компресора, генератора, насоса гідропідсилювача тролейбусів) аналогічні процесам зносу ТЕД. Тому методи діагностування останніх застосовні і для інших високовольтних електричних машин рухомого складу міського електротранспорту.

Діагностування тиристорно-імпульсних систем управління

З 1999 року в Україні освоїли виробництво тролейбусів з імпульсною системою управління (ТІСУ) тяговим приводом. Це насамперед тролейбуси типу К12.03, К12.04, які виробляє Київський державний авіаційний завод “Авіант”. Крім того, в експлуатації знаходяться тролейбуси з аналогічною системою управління тяговим приводом, вироблені в Чехії (14ТР, 15ТР), і декілька тролейбусів виробництва Росії (ЗіУ 683). Виготовлені вітчизняні зразки і трамвайних вагонів з імпульсною системою управління. Це вагони типу ЛТ 10, зроблені в Луганську (ХК “Луганськтепловоз”) та типу “К1-Київ”, виготовлені в Дніпропетровську (СП “Татра-Юг”). Експлуатація РС із ТІСУ підтвердила, що вони дозволяють знизити витрати електроенергії на рух, а також істотно зменшити трудомісткість процесів обслуговування і ремонту в порівнянні з РС, обладнаним контакторно-реостатними системами управління.

Розглянемо проблеми діагностування машин з ТІСУ на прикладі тролейбусів типу ТР-14.

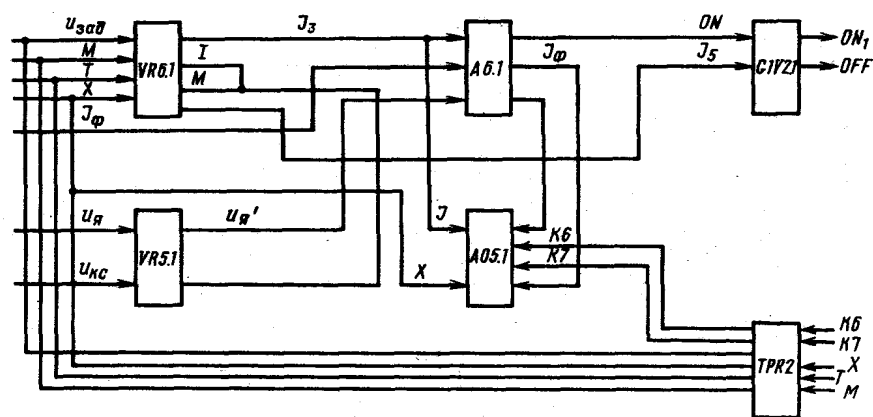


Рис. 7.20.5 – Структурна схема блоку управління тиристорами тролейбуса ТР-14:

VR6.1 – плата формуючих і керуючих кіл; A6.1 – плата двопозиційного регулятора струму; G1V2.1 – плата кіл включення тиристорів; VR5.1 – плата кіл обмеження напруги; AO5.1 – регулятор ослаблення порушення; TPR2 – плата кіл гальванічної розв'язки

Тиристорно-імпульсна система управління включає два основних блоки - управління і силовий. Блок управління тиристорами тролейбуса ТР-14 (рис. 7.20.6) конструктивно складається з каркаса, в якому встановлені автономні плати, з'єднані за допомогою роз'ємів. Передбачено роз'єми для стикування блоку з іншими блоками й апаратами тролейбуса. Є також роз'єми для підключення зовнішніх засобів діагностування.

Основними апаратами силового блоку ТІСУ тролейбуса Тр-14 (рис. 7.20.6) є головні тиристири $V17$ і $V18$, комутуючий тиристор $V16$, комутуюча ємність $C12$ і згладжувальна $C\phi$, дроселі $L1 - L5$, силові діоди. Усі тиристири й діоди силового блоку зашунтовані колами з послідовним з'єднанням резистора і ємності, які називаються далі RC -колом. Апарати силового блоку прикріплені, як правило, до його каркаса через ізоляційні конструкції за допомогою кріпильних з'єднань.

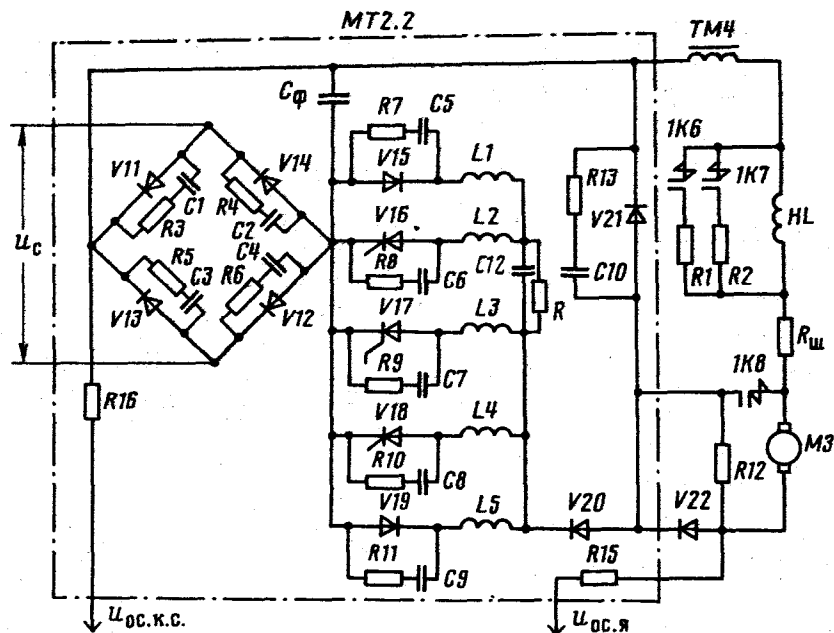


Рис. 7.20.6 – Принципова електрична схема силового блоку ТІСУ тролейбуса ТР-14.

Досвід експлуатації імпульсних систем управління тяговим приводом свідчить, що відмови в основному спостерігаються в наступних елементах електричного приводу: мікросхеми, діоди, стабілітрони, контактні з'єднання плат, тиристири, ємності, резистори.

Відмови інтегральних мікросхем підрозділяють на три групи:

- відмови, обумовлені фізико-хімічними процесами в напівпровідниках;
- відмови, пов'язані з процесами на поверхні кристала;
- відмови, що залежать від контактних з'єднань.

Найбільш слабкою ланкою інтегральних мікросхем є внутрішні з'єднання між контактними площадками на кристалі і виводами корпусу, що викликають обриви електричних кіл. Такі відмови мають місце в інтегральних схемах в управляючій частині регулятора.

Крім того, значна частина відмов пов'язана з порушенням контакту виходів мікросхеми з доріжками плат.

Відмови, пов'язані з внутрішніми з'єднаннями між контактними площадками на кристалі і виводами корпусу, а також відмови через порушення контакту в місцях пайки до доріжок плат, мають нерідко перемежований характер (відмова то виникає, то зникає), що значно ускладнює пошук несправного елемента.

У силових напівпровідникових приладах (тиристорах і діодах) найбільша частина відмов обумовлена пробоем $p-n$ переходів. Крім того, спостерігаються обриви або перегорання внутрішніх виходів, розтріскування кристала. У переважній більшості випадків відмови силових напівпровідникових приладів є вторинним явищем, якому передують виникнення несправностей в інших колах ТІСУ.

Найбільш характерними випадками несправностей - відмов елементів, що не призводять до негайної втрати працездатності тролейбусів, але різко підвищують імовірність відмов машини, є обриви (перегорання) захисних RC -ланцюгів, порушення зворотного зв'язку за напругою в режимі електродинамічного гальмування через перегорання резистора $R15$ (див. рис. 7.20.6), пробій діода $VI5$ з наступним порушенням теплового режиму дроселя LI .

При обриві RC -кола на відповідному напівпровідниковому приладі силового блоку збільшуються в момент комутації короткочасні (до 15 мкс) піки напруги, що перевищують номінальну напругу в декілька разів. Якщо така несправність не буде вчасно виявлена і ліквідована, то це призведе до катастрофічного (раптового) виходу з ладу тиристора або діода з відмовою РС.

При порушенні зворотного зв'язку за напругою, що частіше відбувається внаслідок перегорання резистора $R15$, у момент інтенсивного електродинамічного гальмування з високої швидкості можливе виникнення колового вогню на колекторі ТЕД з наступною відмовою двигуна. Ймовірна також відмова силових напівпровідникових приладів через збільшену напругу в колах у момент гальмування.

При пробіі діода $VI5$ через дросель LI починає проходити струм подвійної частоти (в обох напрямках), що призводить до збільшення

температури обмоток дроселя, пошкодження ізоляції і відмови останнього.

Слід зазначити, що наведені несправності не виявляються зовні, вони можуть бути виявлені тільки в процесі діагностування за допомогою технічних засобів. У протилежному разі ці несправності призводять до відмови дуже дорогих елементів ТІСУ.

Однією із серйозних несправностей, що також не виявляється зовні, є зменшення ємності батарей фільтра. Це відбувається внаслідок порушення герметичності, пробою, а потім перегорання частини паралельно з'єднаних конденсаторів або обриву зовнішніх з'єднань. У результаті зменшення загальної ємності батареї значно зростає рівень пульсації напруги, що інтенсифікує знос ТЕД, приводить до перенапруг, збільшує перешкоди теле- і радіоприйому.

Однією із зовнішніх причин відмов елементів ТІСУ є підвищені вібрації кузова тролейбуса при несправностях ТЕД, карданного вала, мотор-компресора, мотор-вентилятора. Друга зовнішня причина відмов - забруднення плат з одночасним порушенням їхніх захисних плівок. У цьому разі, особливо при високій вологості повітря, виникають помилкові струмопровідні перемички між доріжками плат. Має місце також пробій між радіаторами силових напівпровідникових приладів за наявності на них забруднень.

У цілому аналіз відмов елементів ТІСУ показує, що відмови мають, за поодинокими винятками, раптовий характер. До цього часу отриманий досвід експлуатації тролейбусів з ТІСУ не дозволив переконливо довести наявності параметрів технічного стану елементів ТІСУ, що монотонно змінюються з напрацюванням і дозволяють прогнозувати залишковий ресурс елементів. У цьому напрямку необхідні глибокі науково-дослідні роботи.

На залізничному транспорті проведені дослідження з пошуку методів визначення залишкового ресурсу силових напівпровідникових приладів. Запропоновано метод контролю технічного стану тиристорів за значенням внутрішнього електричного опору. Рекомендується як датчики опору використовувати граничні підсилювачі.

Діагностування силових діодів здійснюють за двома параметрами - тепловим опором і зворотним струмом. Запропоновані також інші методи й засоби діагностування тиристорів і діодів: за струмами витоку в прямому і зворотному напрямках, часу включення тиристорів і відновлення напівпровідникових вентилів та ін.

Аналіз показує, що відомі методи контролю технічного стану (залишкового ресурсу) силових напівпровідникових приладів вимагають застосування дуже складної апаратури підвищеної точності, тому поки

недоцільні для умов депо. Не набраний також достатній статистичний матеріал для обґрунтування заміни деяких елементів ТІСУ за напрацюванням.

З урахування сказаного найбільш доцільною стратегією забезпечення працездатності ТІСУ є проведення нетрудомістких обслуговуючих робіт з напрацювання (видалення пилу, чищення, підтяжка кріпильних з'єднань) [28]. Будь-які ремонтні роботи повинні проводитись тільки за станом, що визначається за результатами діагностування блоків ТІСУ.

Методи і засоби діагностування повинні дозволяти здійснювати контроль з різною глибиною, а саме:

- при відмові РС - пошук блоку, що відмовив, а потім плати в блоці, що відмовила, або елемента управління, що відмовив у силовому блоці;
- при плановому діагностуванні ТІСУ - контроль справності й правильності функціонування на рівні плат блоку управління та елементів силового блоку;
- при діагностуванні блоку, що відмовив, або плати в умовах агрегатного цеху - пошук елемента, що відмовив;
- контроль параметрів і правильності функціонування блоків, плат після їхнього відновлення в агрегатному цеху.

Важливим є поглиблене діагностування блоків ТІСУ після відмови машини з метою пошуку крім елемента, який сприяв відмові тролейбуса, можливого відмовлення іншого елемента, що передував відмові основного елемента. Так, заміна тиристорів, які відмовили, чи силових діодів без контролю справності РС- кіл може привести до повторного виходу з ладу цих дорогих апаратів, якщо має місце обрив РС-кола. Таке ж діагностування блоків ТІСУ доцільно проводити після відмови ТЕД, силового дроселя та ін.

Конструкція блоку управління у вигляді легкоз'ємних плат, уніфікація вхідних і вихідних сигналів, що виключає необхідність взаємного узгодження параметрів плат блоку, дозволяють відновлювати блоки ТІСУ заміною плат безпосередньо на РС. Подальший ремонт несправної плати, починаючи з пошуку елемента, який відмовив, ведеться в найбільш сприятливих умовах - на електронній ділянці агрегатного цеху.

З урахування цього діагностування блоків управління ТІСУ безпосередньо на РС доцільно вести тільки до глибини плати. Наприклад, при плановому діагностуванні застосовують два методи: контроль справності частини плат без демонтажу їх з тролейбуса за допомогою переносного пристрою ZR2.1, знімання частини плат для контролю на електронній ділянці агрегатного цеху за допомогою стаціонарного пристрою типу ПДБТ.

У першу групу входять плати, робочі сигнали на які можуть бути подані при

нерухомому тролейбусі, у другу - плати, для контролю яких необхідно задавати різні режими реального руху.

При діагностуванні машини, яка відмовила, контроль блоку управління ведуть також двома методами: контролем справності частини плат за допомогою пристрою *ZR2.1* і діагностуванням інших плат методом заміन, тобто послідовною установкою явно справних плат з ремонтного комплекту.

Для діагностування плат блоку управління на електронній ділянці агрегатного цеху тролейбусного депо НДКТІ МГ розроблений пристрій типу ПДБТ, що є основним видом устаткування робочого місця діагноста. Крім того, робоче місце комплектують двопробеневим осцилографом, блоком управління ТІСУ, приладами й інструментом.

Пристрій типу ПДБТ дозволяє імітувати сигнали, адекватні реальним при русі тролейбуса в різних режимах. Це дає змогу здійснювати повний контроль правильності функціонування керуючого регулятора з імітацією зворотного зв'язку по струму, а також контроль блокування керуючих імпульсів на головних тиристорах при зменшенні напруги мережі в режимі тяги і збільшенні напруги на якорі тягового двигуна в режимі електродинамічного гальмування і т.д.

Функціонально ПДБТ складається з:

- блоку контролю джерел живлення;
- блоку імітації напруги зворотного зв'язку;
- стабілізованого блоку живлення з регульованою на виході напругою *15—30 В*;
- двохконтактного транзисторного перетворювача напруги з індивідуальним джерелом стабілізованої напруги;
- двох імпульсних трансформаторів;
- задаючого потенціометра;
- блоку імітації напруги контактної мережі.

Пошук елемента, що відмовив, у платах блоку управління нерідко є досить тривалим процесом, що вимагає участі висококваліфікованого персоналу. З цього розуміння особливо актуальною є оптимізація процесів контролю, насамперед мінімізація контрольних операцій при пошуку несправності. З найменшими витратами часу такий контроль може бути здійснений при використанні автоматизованих і автоматичних пристроїв з елементами обчислювальної техніки, що дозволяють за розробленою програмою задати необхідні тестові впливи на блок, що перевіряється, вузол, плату, а потім згідно з аналізом реакції об'єкта контролю на зовнішні впливи локалізувати несправність.

Діагностування ТІСУ може вестися оператором з використанням пристрою типу ПДБТ і стандартних контрольно-вимірювальних приладів. З метою підвищення продуктивності праці оператора алгоритм контролю доцільно розробити заздалегідь і безперервно удосконалювати його в міру одержання більш представницької інформації про надійність конкретних елементів і блоків ТІСУ.

Як показують дослідження, проведені в НДКТІ МГ, найбільш ефективним методом представлення взаємозв'язків між станом об'єкта, його елементами і параметрами є графоаналітичні моделі.

За допомогою орієнтованих графів і їхніх відображень можна найбільш наочно представити зв'язки між платами регулятора або елементами конкретної плати і простежити з мінімальною витратою часу правильність проходження сигналів.

Методи пошуку несправностей, що застосовуються при діагностуванні радіоелектронних пристроїв, аналогічних за конструкцією до ТІСУ, підрозділяють на метод «час - імовірність», метод половинної розбивки за імовірністю, метод діагностичних таблиць.

Як показали результати досліджень з діагностування ТІСУ тролейбусів, кожний з цих методів найбільш ефективний для конкретного схемного вирішення вузла і реальної структури блоку, плати.

При методі контролю «час — імовірність» оптимальну послідовність пошуку несправності елемента вибирають за умови

$$\tau_1 P_1 < \tau_2 P_2 < \dots < \tau_i P_i,$$

де τ — середній час операції контролю справності i -го елемента;

P_i — умовна імовірність відмови i -го елемента.

Якщо витрати часу на контроль всіх елементів однакові, то тоді оптимальна послідовність такого контролю матиме вигляд

$$P_1 > P_2 > \dots > P_i.$$

Найбільш типовим способом діагностування плат ТІСУ є подача вхідного сигналу на коло послідовно з'єднаних елементів і контроль реакції на цей сигнал на виходах кожного з елементів. У цьому разі необхідно визначити оптимальну процедуру контрольних операцій з урахуванням надійності кожного з елементів.

Завдання вирішують контролем сигналу в одній з точок кола з наступним виділенням частини кола з несправним елементом, розділом її надалі знову на

дві частин і т.д., до локалізації у вигляді ділянки кола несправного елемента.

Пошук елемента, що відмовив, буде здійснений з мінімальною витратою часу, якщо об'єднання елементів у ділянки кола для контролю щоразу буде виконуватися з урахуванням розподілу вищеописаної ділянки з несправністю навпіл по імовірності відмови елементів, що входять у цю ділянку, а саме з урахуванням умови

$$\sum_{i=1}^k P_i = \frac{\binom{k}{\sum_{i=1}^k \lambda_i}}{\binom{n}{\sum_{i=1}^k \lambda_i}} = 0,5, \quad (7.20.1)$$

де i – номер елемента, за яким виконується контроль реакції ділянки ланцюга на вхідний сигнал;

n – число елементів у контрольованій ділянці кола;

λ_i – інтенсивність відмови i -го елемента.

Умова (7.20.1) справедлива для найбільш типового випадку, коли час контролю сигналу на будь-якій ділянці ланцюга приблизно однаковий. Вибір точок контролю за цією умовою називають *методом половинної розбивки за імовірністю*.

Сутність методу діагностичних таблиць полягає в аналізі сукупності вихідних сигналів на сукупність вхідних контрольних сигналів (тестів) з урахуванням реальної структури блоку, плати. При розробці діагностичної таблиці складають списки можливих несправностей у контрольованому об'єкті і контрольних тестах.

Таблиця 7.20.1 – Діагностична таблиця

Шифр вхідного сигналу, k	Номер несправності, n			
	1	2	3	4
A	0	1	1	0
B	0	0	1	1
C	1	0	1	1
D	1	1	0	0
E	0	0	0	1

1
1
1
0
0

Під тестом слід розуміти сполучення визначеного стимулюючого сигналу, поданого на певні входи об'єкта. Потім перелік всіх n несправностей записують у горизонтальному стовпчику діагностичної таблиці (табл. 7.20.1), а всі k тестів - у вертикальному.

При заповненні діагностичної таблиці правильному проходженню i -го тесту при j -ій несправності привласнюють у відповідній клітинці цифру 0, а неправильному – 1.

При контролі об'єкта (в основному плати блоку управління ТІСУ) оператор послідовно подає контрольні сигнали і якщо реакція на виході на всі сигнали виявилася правильною, робить висновок про відсутність несправностей у даному об'єкті. У протилежному разі заповнюють стовпець з оцінками 0 і 1 на правильне і неправильне проходження всіх контрольних сигналів, а потім цей стовпчик порівнюють з діагностичною таблицею. Це дозволяє знайти стовпчик з таким же сполученням цифр 0 і 1 у таблиці і відповідний йому номер несправності. Так, показаний в табл. 7.20.1, 6 стовпчик відповідає несправності № 3 діагностичні таблиці (табл. 7.20.1, А).

У деяких випадках вихідні параметри, що знімають з елементів плати, представляють електричні сигнали, які змінюються в часі. Висновок про правильність сигналу, а виходить, про справність ділянки кола, плати чи блоку дають, зіставляючи отриману картину процесу із заданою.

Для діагностування елементів силових блоків ТІСУ НДКТІ МГ створений переносний пристрій ПДБ, призначений і для пошуку елемента, що відмовив, і для контролю справності силових блоків як безпосередньо на тролейбусі, так і на електротехнічній дільниці агрегатного цеху.

Тема 21. Розміщення діагностичного обладнання в технологічних плануваннях депо

Контрольно-діагностичне устаткування

Для діагностування РС у депо застосовують стаціонарні й мобільні (переносні, пересувні) типи контрольно-діагностичного устаткування. Впровадження такого устаткування не висуває практично нових вимог до планувальних структур агрегатних цехів. Не викликає особливих проблем також розширення використання мобільних стендів і приладів на лініях ТО і ремонтних постах [26, 28].

Одночасно застосування стаціонарних стендів вимагає істотної зміни планувально-організаційних структур депо з урахуванням найкращої взаємодії цих найбільш складних і дорогих пристроїв з процесами ТО і Р. Це стосується існуючих депо і, безумовно, перспективних, тому що надалі, мабуть, не зменшиться, а навпаки, ще більше зросте актуальність безпосереднього контролю параметрів РС, що впливають на зношення шин, витрату електроенергії, безпеку і безвідмовність машин.

У табл. 7.21.1 наведені основні види контрольно-діагностичних робіт, що виконуються на тролейбусах із застосуванням стаціонарних стендів у взаємозв'язку з різними видами ТО і Р. В останній графі таблиці зазначені типи стендів, які розроблені Науково-дослідним і конструкторсько-технологічним інститутом міського господарства, але можуть застосовуватися й інші, які б виконували аналогічні функції.

У табл. 7.21.1 показано види поглибленого діагностування з деякою різницею у цілях й обсягах. Діагностування *Д2* проводять для визначення потреби тролейбуса в ремонтно-обслуговуючих впливах, а саме уточнюють обсяг таких впливів і термін їхнього проведення. Діагностування *Д2'* представляє регулювальні операції на стендах, а також контроль якості виконаних робіт на ТР, СР, КР.

Таблиця 7.21.1

<i>Вид діагностування</i>	<i>Період проведення діагностування у взаємодії з видами ТО і Р</i>	<i>Стаціонарні стенди типів, що застосовуються</i>
<i>Д_{що}</i>	При ЩО	СКПТ або СТУ
<i>Д1</i>	При ТО	СКПТ, СКДШ, СКТ
<i>Д2</i>	Один раз на чотири тижні, поєднуючи з ТО, а також перед ПР і СР	СКПТ, СКДШ, СКТ, СКСКТ-М, СВЕ, СКДТ
<i>Д2'</i>	Після ПР, СР, КР	Те саме
<i>Д2''</i>	Після окремих видів ремонтів на ТО. До (або) і після окремих видів НР. Вибірково, на вимогу ВТК або керівництва технічної служби	Те саме

У процесі діагностування *Д2''* також здійснюють в основному контрольні й регулювальні роботи. При цьому в процесі виконання позапланових ремонтів контроль на стендах виконують тільки для машин, що мають складну несправність, яку без засобів діагностування встановити неможливо або цей процес виявиться трудомістким.

Після виконання НР і ТО діагностуванню *Д2''* підлягають тільки ті машини, на яких проводилися відновлювальні і роботи, що вимагають наступної стендової перевірки.

Деякі види позапланових ремонтів (обслуговувань) можуть бути виконані повністю на стендах при Д2", якщо відмова або несправність були пов'язані виключно з регулювальними впливами (наприклад, по гальмівних системах). Послідовність виконання на стаціонарних стендах контрольно-діагностичних операцій по відношенню до інших операцій ТР, СР, КР і НР видно з табл. 7.21.1. Послідовність виконання процесів ТО і контролю на стаціонарних стендах вимагає особливого обговорення, розглянемо це на прикладі організації діагностування тролейбусів.

Можливі п'ять варіантів організаційно-планувальної структури ліній ТО за ознакою взаємозв'язку процесів ТО з діагностуванням на стаціонарних стендах:

перший — трипостова лінія ТО, стенди розташовані на постах (рис. 7.21.1, а);

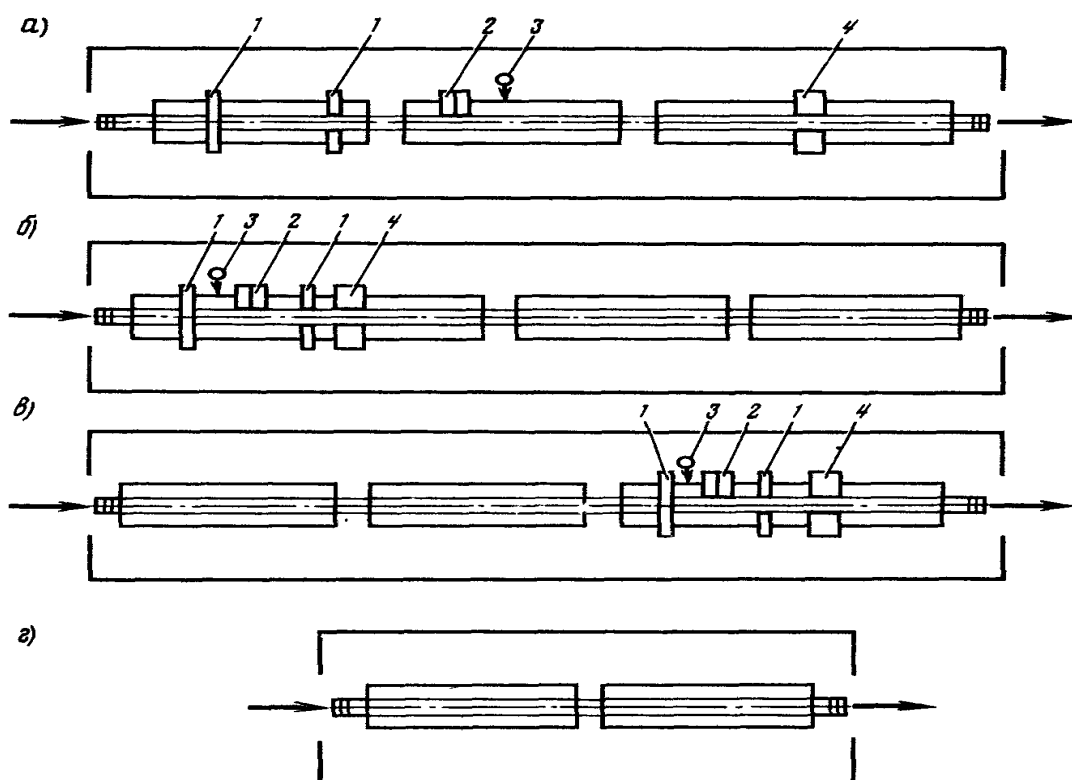


Рис. 7.21.1 – Лінії технічного обслуговування:

1—СКДШ; 2—СКНО (тільки для депо, у якому експлуатують тролейбуси Тр-9, Тр-14), 3—СКПТ; 4—СКТ

другий — трипостова лінія ТО, стенди встановлені на першому спеціалізованому посту діагностування (рис. 7.21.1, б);

третій — трипостова лінія ТО, стенди знаходяться на третьому спеціалізованому посту діагностування (рис. 7.21.1, в);

четвертий — двопостова лінія ТО (рис. 7.21.1, г), діагностування на стаціонарних стендах в обсязі Д1 здійснюють поза лінією ТО;

п'ятий — двопостова лінія ТО з розташуванням стаціонарних стендів на обох постах.

Діагностування в обсязі Д1 поза лініями ТО може бути виконано або на лініях (постах) поглибленого діагностування, чергуючи певним чином процеси Д1 і Д2, або на спеціалізованих Д1 (рис. 7.21.2).

Нижче наведений техніко-економічний аналіз з визначення доцільних границь застосування організаційно-планувальних рішень ліній ТО у взаємодії з лініями (постами) діагностування.

Вибір одного з перших трьох варіантів планувальної структури лінії ТО (див. рис. 7.21.2) повинен виконуватися з урахуванням прийнятої організації здійснення процесів ТО, системи стимулювання і техніко-економічних показників. У свою чергу, останні істотно залежати від типу рухомого складу, а також від обставини, коли йдеться про будівництво нового депо чи реконструкцію існуючого.

За рівнем капітальних витрат перші три варіанти практично рівнозначні. В організаційно-технологічному плані перевага третього полягає в тому, що стендовий контроль дозволяє не тільки визначити потребу в ремонтних чи регулювальних роботах, але й дати оцінку якості уже виконаних обслуговуючих робіт на попередніх постах ТО.

У цьому разі стендовий контроль на заключній фазі ТО може використовуватися майстром чи бригадиром для контролю якості робіт на лінії ТО. Крім того, підвищується пропускна здатність ділянки діагностування за рахунок виконання підготовчих робіт на попередніх постах.

Перевага іншого варіанта виявляється в тому випадку, коли на постах ТО передбачений відносно тривалий простій машин з нерівномірним завантаженням персоналу. Тоді частина ремонтних робіт, потреба в яких виявлена на стаціонарних стендах перед постами ТО, може бути виконана вже на постах ТО без додаткових витрат.

Перший варіант розташування стаціонарних стендів на лінії ТО для тролейбусів дозволяє глибше спеціалізувати виконання процесів ТО по вузлах.

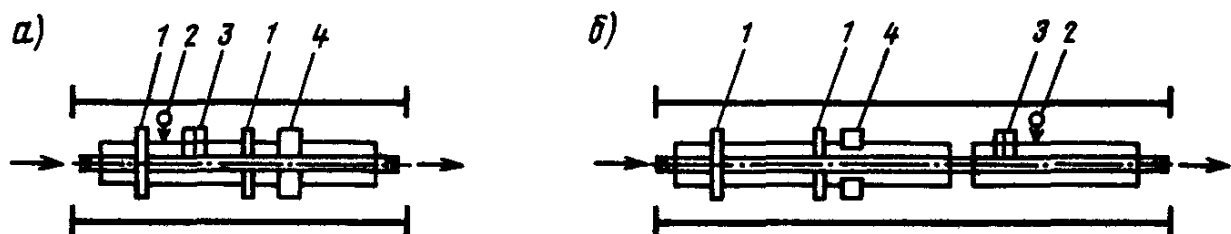


Рис. 7.21.2 – Одно-(а)) і двопостова (б)) спеціалізовані лінії діагностування в обсязі Д1:

1—СКДШ; 2—СКПТ; 3—СКНО (тільки для депо, в яких експлуатують тролейбуси Тр-9, Тр-14), 4—СКТ

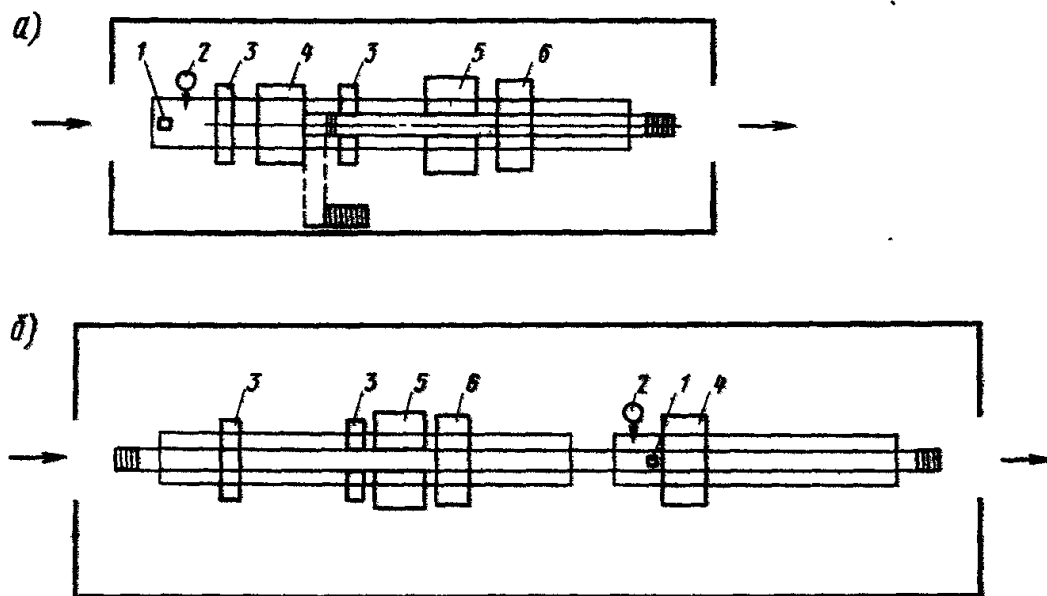


Рис. 7.21.3 – Пост і лінія поглибленого діагностування:
 1—СКДТ; 2—СКПТ; 3—СКДШ; 4—СВЕ; 5—СКТ; 6—СКСКТ

Щодо поглибленого діагностування Д2, доцільність організації спеціалізованих ліній (постів) для проведення цього виду робіт не викликає сумнівів, тому що всі необхідні роботи з результатів Д2 виконують (за поодиноким винятком) на ремонтних постах, які оснащені піднімальним і монтажним-демонтажним устаткуванням. Недоцільність установки на цих же постах будь-яких стаціонарних засобів діагностування очевидна. Залежно від місткості тролейбусного депо і прийнятого способу виконання контрольних операцій на стаціонарних стендах можливі два типи планувальних рішень ділянок поглибленого діагностування: однопостова ділянка (рис. 7.21.3, а), двопостова лінія (рис. 7.21.3, б).

У першому випадку передбачають паралельну роботу діагностів (механіків і електриків) з деякою втратою часу одного з них при виконанні технологічно несумісних операцій. Двостанційна лінія діагностування дозволяє виділити перший пост для роботи діагноста-механіка і другий для діагноста-електрика.

Для знаходження найбільш раціональних варіантів комплектування тролейбусних депо ділянками діагностування визначених типів у взаємозв'язку з різними організаційно-планувальними структурами ліній ТО розглянемо приклад розрахунку умовних річних витрат для вищеписаних депо різних місткостей і варіантів організації процесів Д1 і Д2.

Варіанти, що зіставляються, для депо місткістю 100, 200 і 300 одиниць рухомого складу наведені в табл. 7.21.2. Для кожного варіанта умовні річні витрати Q_i , визначалися з виразу

$$Q_i = S_i C_p + \sum_{j=1}^n C_j + N_{\text{ман } i} L_M \left[\left(\frac{1}{V_m} + \frac{1}{V_\theta} \right) C_\theta + C_e \right], \quad (7.21.1)$$

де S_i ; – виробничі площі в i -му варіанті, м^2 ;

C_p – річна питома вартість утримування виробничих площ, $\text{грн.}/\text{м}^2$;

C_j – річна вартість утримування j -го виду стаціонарного контрольно-діагностичного устаткування, грн. ;

n — число видів стаціонарного контрольно-діагностичного устаткування;

$N_{\text{ман } i}$ — число зовнішніх маневрів на рік машин, що проходять ТО і Р у i -му варіанті;

L_M – довжина зовнішнього маневрового шляху, км ;

V_m, V_θ — швидкості переміщення відповідно тролейбуса і маневрового водія, $\text{км}/\text{год}$;

C_θ — питомі витрати, пов'язані з утримуванням маневрового водія, $\text{грн.}/\text{год}$;

C_e — питомі витрати, пов'язані з витратою електроенергії при маневрових роботах, $\text{грн.}/\text{км}$.

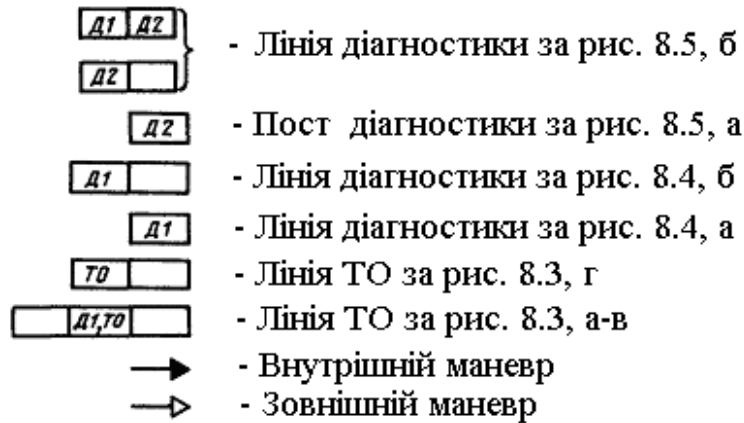
Розрахунок виконуємо з урахуванням річних витрат на утримування стаціонарних контрольно-діагностичних стендів, що наведені далі. Річна вартість утримування квадратного метра виробничої площі павільйону прийнята в сумі 15,5 грн. При підрахунку річних витрат на утримування виробничих площ враховували всі види витрат: амортизаційні відрахування, витрати на усі види ремонтів, опалення, вентиляцію, освітлення, прибирання та ін. До річних витрат на утримування устаткування ввійшли амортизаційні відрахування, витрати на ТО і Р.

Таблиця 7.21.2

Варіант №	Місткість парку	Планувальна структура
1	100	
2	100	
3	200	
4	200	
5	200	
6	300	
7	300	

Варіант №	Місткість парку	Планувальна структура
8	300	

Примітка. Умовні позначки:



Стенд типу	СКДШ	СКТ	СКСКТ	СВЕ	СКПТ	СКДТ
Річні витрати на утримання, тис.грн	0,427	1,026	0,626	1,026	0,428	0,100

У табл. 7.21.3 наведені результати розрахунків річних витрат для депо місткістю 100, 200 і 300 двохосних тролейбусів при різних маневрових шляхах і варіантах організаційно-планувальних структур, наведених у табл. 7.21.2. Розрахунки, що наведені в табл. 7.21.3, виконані за середніми вихідними даними і підлягають уточненню в процесі виконання конкретного проекту.

Як бачимо з табл. 7.21.3, за критерієм мінімуму умовних річних витрат найбільш доцільними є нижченазвані варіанти.

Для депо на 100 од. це двохпостова універсальна лінія діагностування для Д1 і Д2 при довжині маневрового шляху менше 0,3 км (варіант 1); використання поста поглибленого діагностування і розміщення стаціонарних стендів Д1 на лінії ТО при довжині маневрового шляху понад 0,3 км (варіант 2).

Таблиця 7.21.3

Довжина маневрового шляху L_m , км	Річні витрати Q_i , тис.грн., при варіантах, наведених в табл. 7.21.2 для депо місткістю							
	100 од.		200 од.			300 од.		
0,60	17,4	14,3	32,1	22,9	24,9	41,9	29,9	31,1
0,55	16,9	14,3	31,1	22,9	24,9	40,4	29,9	31,1
0,50	16,3	14,3	30,1	22,9	24,9	38,8	29,9	31,1
0,45	15,9	14,3	29,0	22,9	24,9	37,3	29,9	31,1
0,40	15,3	14,3	28,0	22,9	24,9	35,8	29,9	31,1
0,35	14,9	14,3	27,0	22,9	24,9	34,3	29,9	31,1
0,30	14,3	14,3	26,0	22,9	24,9	32,7	29,9	31,1
0,25	13,8	14,3	25,0	22,9	24,9	31,2	29,9	31,1
0,20	13,3	14,3	24,0	22,9	24,9	29,7	29,9	31,1
0,15	12,8	14,3	23,0	22,9	24,9	28,1	29,9	31,1
0,10	12,3	14,3	22,0	22,9	24,9	26,6	29,9	31,1
0,05	11,7	14,3	21,0	22,9	24,9	25,1	29,9	31,1
0	11,3	14,3	20,0	22,9	24,9	23,6	29,9	31,1

Для депо на 200 одиниць - це двохпостові лінії Д2 і розміщення стаціонарних стендів Д1 на лінії ТО при довжині маневрового шляху 0,15 км (варіант 4); при меншому маневровому шляху - використання двохпостової лінії Д2 і однопостової Д1 (варіант 3).

Для депо на 300 одиниць – це двопостові лінії Д2 і Д1 при довжині маневрового шляху менше 0,2 км (варіант 6); використання двопостової лінії Д2 і розміщення стаціонарних стендів Д1 на лініях ТО при маневровому шляху більше 0,2 км (варіант 7).

Крім стаціонарних стендів, для визначення технічного стану елементів, агрегатів, блоків тролейбуса при всіх видах ТО і Р можуть застосовуватися мобільні засоби діагностування. Їх використовують на лініях (постах) діагностування як для самостійного контролю певних параметрів, так і для перевірки у взаємодії із стаціонарними стендами діагностики. Так, при імітації різних режимів руху (швидкостей, обертових моментів) на стенді типу СВЕ переносними контрольно-діагностичними пристроями і приладами можуть фіксуватися безліч параметрів (у тому числі з реєстрацією на перфострічку, магнітну стрічку і т.д.), що характеризують стан елементів кіл керування, тягових кіл трансмісії.

Другим місцем застосування мобільних засобів діагностування є лінії ТО. У процесі виконання регламентних операцій ТО мобільні засоби застосовують для контролю параметрів і їхнього регулювання.

Великою є роль мобільних засобів діагностування при виконанні ТР, СР на ремонтних постах. При цих двох ремонтах проводять поглиблене

діагностування агрегатів і блоків тролейбуса для того, щоб не тільки виявити несправності, але й виконати прогнозування залишкового ресурсу, за результатами якого виносять дуже відповідальне рішення - чи слід демонтувати той чи інший агрегат або блок.

Для такого поглибленого діагностування потрібні по окремих вузлах визначені підготовчі демонтажні роботи, що є елементами ТР чи СР. У цих умовах стає вигідним широке застосування мобільних засобів діагностування безпосередньо на ремонтних постах після часткового розбирання тролейбуса.

Так, для діагностування компресора за параметром витрати мастила (питома кількість мастила, що перекачується в систему, при зношенні поршневої групи — «насосний ефект») необхідне від'єднання компресора від зворотного клапана.

Це ж від'єднання передбачене технологією ТР і СР для зняття зворотного клапана за наробітком. Тому з умови сполучення підготовчих робіт для поглибленого діагностування із самими процесами ТР і СР діагностування компресора доцільно проводити мобільними пристроями безпосередньо на ремонтних постах.

Можна навести аналогічні приклади по інших вузлах. Значно полегшується візуальне діагностування після часткових демонтажних робіт. Тому на лініях (постах) Д2 перед ТР і СР діагностуванню доцільно піддавати тільки ті вузли, контроль технічного стану яких без стаціонарних стендів неможливий чи неефективний.

На цих же ділянках можна робити інші контрольні операції, що не вимагають великих підготовчих робіт. Поглиблене ж діагностування інших вузлів тролейбуса доцільніше вести за допомогою мобільних засобів діагностування після установки тролейбуса на спеціалізовані пости і часткового її розбирання.

Мобільні засоби діагностування повинні застосовуватися на ремонтних постах для виконання контрольних і регулювальних робіт після ремонтних операцій як на тролейбусах, що проходять ТР і СР, так і НР на машинах з числа ТО, що направляються на спеціалізовані пости.

При цьому особливий ефект має застосування мобільних засобів як післяремонтних засобів контролю і регулювань машин, що проходять непланові ремонти і направлені на спеціалізовані пости після ліній ТО. Це дозволяє зменшити обсяг маневрових робіт, виключивши в ряді випадків заїзд тролейбусів на лінії діагностування після виконання ремонтних робіт.

Запитання до самоперевірки

1. Обґрунтувати можливість діагностичного визначення відмінностей миттєвих пошкоджень від пошкоджень, що накопичуються.
2. Обґрунтувати можливість встановлення за допомогою діагностичного обладнання зв'язку того чи іншого виду функцій інтенсивностей відмов з показниками зовнішнього навантаження.
3. Обґрунтувати показники стаціонарних випадкових процесів зовнішнього навантаження на елементи механічної частини рухомого складу для формування завдання на розробку відповідного діагностичного обладнання.
4. Обґрунтувати показники стаціонарних випадкових процесів зовнішнього навантаження на елементи електричної частини рухомого складу для формування завдання на розробку відповідного діагностичного обладнання.
5. Пояснити причинно-наслідковий зв'язок між впровадженням засобів технічної діагностики і витратами на ремонти.
6. Місце засобів діагностування в технологічних плануваннях депо.
7. Обґрунтувати склад стаціонарного діагностичного обладнання для трамвайних вагонів.
8. Як проводиться розрахунок умовних річних витрат на впровадження систем діагностування в депо ?
9. В чому особливості організації ТО і НР при впровадженні систем діагностування?

Модуль 8. Удосконалення організації технічного обслуговування і ремонту

Тема 22. Механізація процесів заміни агрегатів

Агрегатний метод

Однією з ефективних форм відновлення працездатності є запровадження робіт в агрегатних ремонтних підрозділах. Відомо, що вигідніше робити операції з використанням ремонтних комплектів. Під останніми розуміють агрегати, вузли, окремі групи деталей високої готовності, що дозволяють виконати відновлення РС за допомогою монтажно-демонтажних робіт без додаткового припасування і при мінімальній трудомісткості. При цьому відновлення ремонтних комплектів здійснюють на спеціалізованих агрегатних ділянках.

При створенні системи ТО і Р треба передбачати застосування агрегатного методу ремонту внаслідок важливих його економічних,

організаційних і соціальних переваг, що впливають з наступного:

- ремонт агрегату, як правило, займає значно більше часу, ніж його демонтаж і монтаж,
- у цих умовах агрегатний ремонт дозволяє істотно скоротити простої машини в ремонті, тривалість монтажно-демонтажних робіт з будь-якого агрегату менше міжпикового часу перебування тролейбусів у депо, що дозволяє, у принципі, провести ремонт машин (крім СР і КР) без зняття їх з руху в години пік і реалізувати високий коефіцієнт випуску;
- при необхідності відновлення окремих тролейбусів у нічний час для забезпечення ранкового випуску створюються умови для здійснення цього з мінімальним обсягом робіт (тільки монтажно-демонтажних), що важливо з урахуванням несприятливих умов праці в нічний час;
- проведення ремонту агрегатів на спеціалізованих ділянках дозволяє використовувати високопродуктивне технологічне і контрольно-випробувальне устаткування, підвищує якість і продуктивність ремонту, поліпшує умови праці ремонтного персоналу, а також створює умови для організації централізованого ремонту агрегатів декількох підприємств у масштабах міста, регіону, країни;
- застосування в умовах матеріально-технічних обмежень системи «самоз'їдання», тобто тимчасового використання справних агрегатів з тролейбусів із свідомо тривалим простоем у ремонті;
- створюються умови для організації спеціалізованих ділянок із заміни агрегатів за допомогою високопродуктивного устаткування і механізації технологічних процесів при мінімальному обсязі ручної праці.

Доцільність використання агрегатного ремонту для тих чи інших ремонтних комплектів залежить від співвідношення засобів, одержуваних у результаті підвищення продуктивності і якості праці, зниження простою машин у ремонті, з одного боку, і додаткових витрат на збільшення числа запасних ремонтних комплектів і їхнє збереження, з другого.

Впровадження технічних засобів діагностування ще більше підвищує ефективність виконання відновлювальних робіт за допомогою ремонтних комплектів повної готовності. Створюються, насамперед, умови для більш глибокого впровадження відновлювальних робіт “за технічним станом” з найкращим використанням ресурсів усіх агрегатів, у тому числі системи ремонту “в кілька заїздів”.

Усі види замін агрегатів можна об'єднати в дві групи: заміна агрегатів на ремонтах (ПР, СР); заміна агрегатів у період між ремонтами - після відмови, за заявками водіїв, за результатами діагностування Д1 чи Д2, а іноді і ДЩО.

Існуючою системою ТО і Р заміна агрегатів передбачається тільки в процесі планових ремонтів. В окремих випадках роблять позапланові заміни агрегатів, як правило, після відмови або за заявкою водія.

Застосування засобів діагностування дозволяє впровадити по окремих агрегатах більш ефективну стратегію відновлення - за технічним станом. Номенклатура агрегатів, відновлюваних таким чином, може поступово розширюватися (в міру розвитку засобів діагностування) зі збереженням методів відновлення інших агрегатів за напрацюванням.

Крім більш повного використання ресурсу агрегатів, при такому способі ремонту можна охопити значно більший обсяг відновлювальних операцій у міжпиковий час, “у декілька заїздів”, сприяючи тим самим істотному підвищенню коефіцієнта випуску рухомого складу.

Зазначена тенденція є принциповою з погляду вимог до устаткування із заміни агрегатів. Остання при ремонті включає, як правило, одночасну заміну декількох агрегатів, тоді як непланові заміни - це заміни в більшості випадків одного агрегату в один заїзд. Заміна агрегатів при ремонті супроводжується також ремонтом кузова.

Механізація робіт із заміни агрегатів

При формуванні вимог до технологічного устаткування із заміни агрегатів треба враховувати місце проведення робіт відносно кузова РС. Переважна більшість агрегатів для своєї заміни вимагає доступу знизу, а частина - і знизу, і збоку машини або з її салону (кабіни).

При заміні агрегатів, що вимагають доступу знизу, можливі два методи:

- робота з канави під РС, що знаходиться на рівні підлоги цеху або піднятим на невелику висоту (0,5—0,7 м);
- робота з підлоги під машиною, піднятою над підлогою до висоти 1,6—1,8 м.

Перший метод називають канавним, другий - безканавним. Проміжні варіанти практично не застосовують. Оскільки пости по заміні агрегатів у загальному випадку використовують для ремонту й інших елементів РС, у тому числі кузова, то будемо називати їх ремонтними постами.

Канавні ремонтні пости можуть мати декілька технологічних схем залежно від застосовуваного піднімального та монтажньо-демонтажного устаткування. Основні схеми таких постів для двохосьових тролейбусів наведені на рис. 8.22.1 [26].

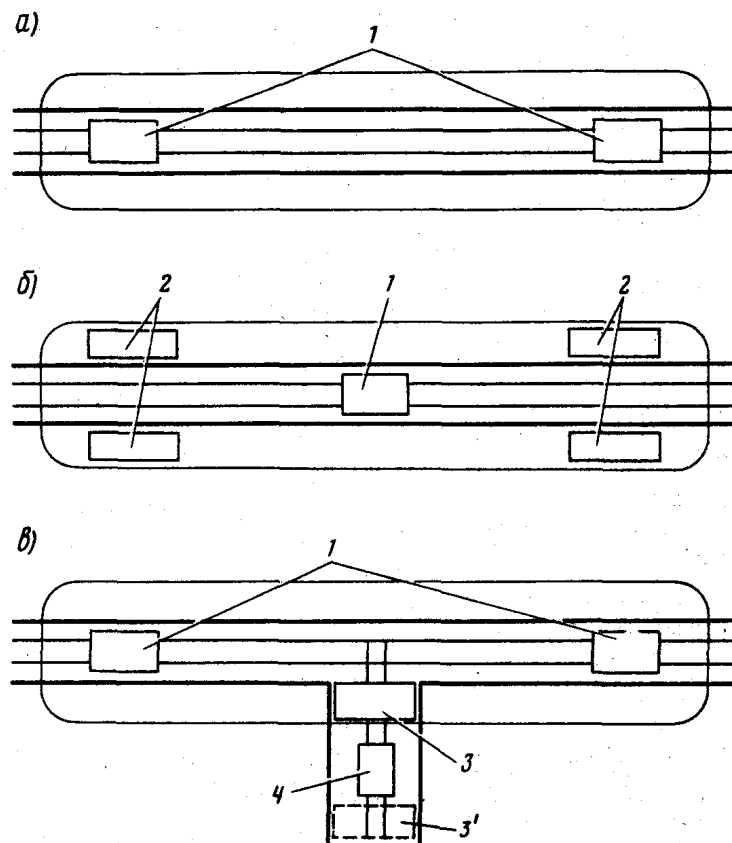


Рис. 8.22.1 – Технологічні схеми канавних ремонтних постів

Пости з двома пересувними підйомниками *1* (рис. 8.22.1, а) використовують і для піднімання тролейбусів (з наступною установкою їх на тверді підставки), і для демонтажу агрегатів. Демонтовані агрегати викочують на підйомнику *1* з-під тролейбуса уздовж канами чи убік за допомогою проміжного візка, укріпленого на пересувному підйомнику *1*.

Пости з пересувним *1* і стаціонарними підйомниками *2* (рис. 8.22.1, б) служать для монтажно-демонтажних робіт, так само як і в першій схемі. Однак піднімання тролейбуса здійснюють тільки стаціонарними підйомниками *2*.

Пости з двома поздовжніми пересувними *1* і поперечним пересувним *4* підйомниками (рис. 8.21.1, в) мають пересувну естакаду *3*. Після установки тролейбуса на посту піднімання його підйомниками *1* пересувна естакада *3* відсувається убік (положення *3*). Цим забезпечують вільний доступ до агрегату, що демонтується, і можливість його викочування на підйомнику *4* убік уздовж бічної канами, де агрегат може бути взятий стаціонарним чи пересувним підйомно-транспортним обладнанням.

У схемі, що наведена на рис. 8.22.1, в, можливе застосування не трьох, а двох підйомників з пристроєм поворотного кола на перетині поздовжньої і поперечної канами і періодичного використання одного з підйомників і для піднімання машини, і для знімання агрегатів.

Безканавні ремонтні пости за способом підйому двохосьових машин можна поділити на три основні технологічні схеми:

- з підніманням за допомогою двох стаціонарних одностійкових підйомників, встановлюваних по поздовжній осі тролейбуса з поперечними консольними балками у верхній частині кожного підйомника;

- з підніманням за допомогою чотирьох підйомників, розташованих уздовж фальшбортів машини з поперечними балками, що зв'язують кожну пару підйомників;

- за допомогою чотирьох одностійкових підйомників, що захоплюють колеса тролейбуса.

Підйомники першої схеми тільки стаціонарні, в опущеному стані розташовуються, як правило, на рівні підлоги. У другій схемі вони стаціонарні або пересувні, у третій, як правило, пересувні. Для демонтажу агрегатів на безканавних ремонтних постах використовують пересувні пристрої з маніпуляторами підйомниками. Вони пересуваються по рейках, покладених у площині підлоги, чи просто по підлозі.

На відміну від безканавних ремонтних постів, канавні частіше застосовуються в депо з пересувними електромеханічними підйомниками (див. рис. 8.22.1, а) на декількох (звичайно до трьох) послідовно розташованих машино-місцях.

Вважається, що найбільш перспективним є застосування безканавних ремонтних постів для виконання планових ремонтів. Безканавний ремонтний пост більш вигідний і з економічних міркувань - вище продуктивність праці при заміні агрегатів. Крім того, під машиною можуть працювати одночасно кілька виконавців, що вкрай важливо в умовах, коли міняються агрегати і одночасно виконується ремонт інших елементів підкузовного обладнання. При цьому скорочується час простою машини в ремонті й інтенсифікується використання поста.

При заміні одного чи двох агрегатів, що типово при НР, ТО, ПР, ЩО, найбільш прийнятним є канавний ремонтний пост. Перевага такого поста при обмеженому обсязі робіт виявляється за рахунок меншої питомої вагою підготовчо-заклучних робіт на ньому в порівнянні з безканавним.

Для тролейбусних депо найбільш доцільним є застосування ремонтного поста типу ПМТ-270, який включає повний комплект технологічного устаткування, розробленого в Науково-дослідному і конструкторсько-технологічному інституті міського господарства.

Пост монтують на поздовжній і поперечній канавах (рис. 8.22.2). Пост має пересувну самохідну естакаду 7 з перехідним містком 8.

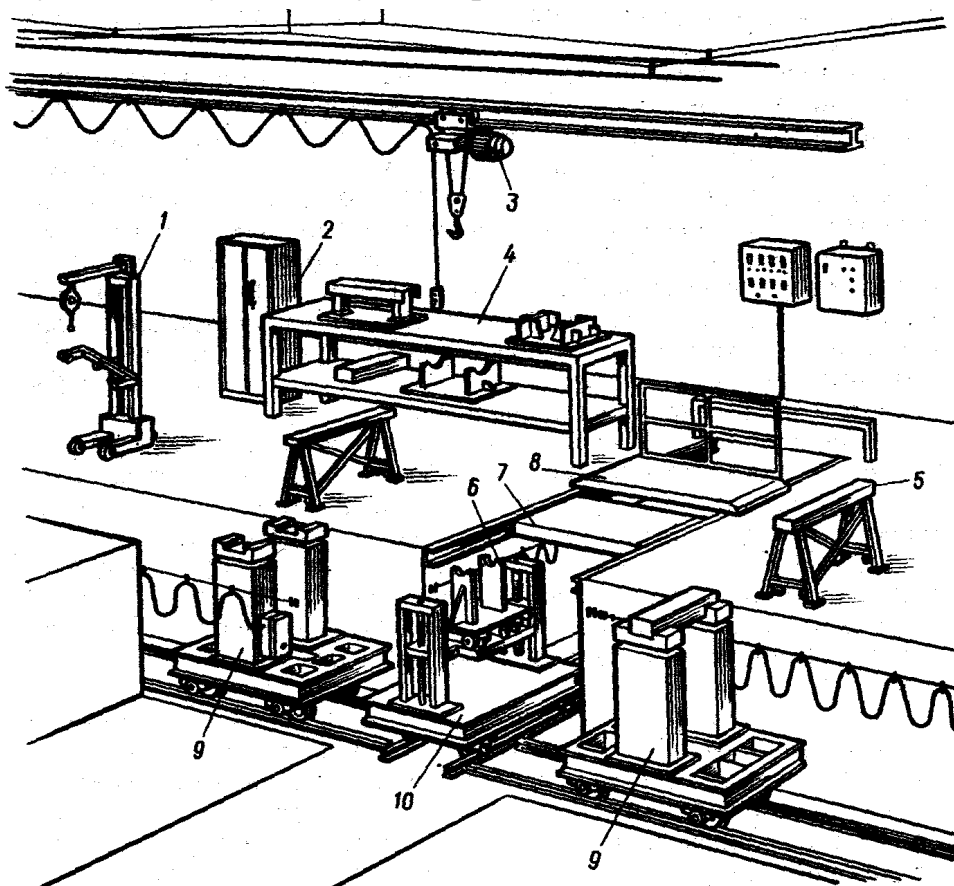


Рис. 8.22.2 – Канавний ремонтний пост типу ПМТ-270

Естакада 7 являє собою металеву платформу, що зварена зі швелерів і листового прокату. На коротких сторонах платформи укріплені чотири металевих колеса з ребордами; два, що мають двигуни, до них підключений електромеханічний привод, що складається з асинхронного двигуна потужністю 1,5 кВт, ланцюгової передачі і черв'ячного редуктора. Пересування естакади здійснюють по швелерах, вмонтованих у поперечну канаву. На обох кінцях швелерів установлені кінцеві вимикачі, що обмежують переміщення естакади.

У середині поперечної канахи покладені рейки, по яких переміщується пристрій заміни підкузовного обладнання 10, що представляє електромеханічний підйомник з двома рознесеними стояками. Між останніми змонтована вантажна рама з установленою на ній кареткою. Пристрій має механізм пересування. На каретці закріплюють змінні пристрої 6, які призначені для агрегату тролейбуса, що знімається.

У поздовжній канаві розміщують два самохідних канавних підйомники 9 вантажопідйомністю не менше 6 т кожний. Підйомники оснащені пристроєм

блокування, що виключає механізм пересування при наявності вантажу на піднімальних стояках.

Приводи підйому і переміщення розташовують на платформі підйомника і тим самим створюють вільний простір між піднімальними стояками, що поліпшує умови роботи в канаві.

Для заміни коліс, маточин передніх і задніх коліс, акумуляторних батарей, мотор-компресора, мотор-гідронасоса тролейбуса застосовують пристрій 1, встановлений на підлозі. Він являє собою візок з чотирма колесами і вертикальний пілон з вантажним захватом. У нижній частині візка знаходиться привод, що складається з електродвигуна, черв'ячного редуктора і ланцюгової передачі. Усередині пілона по напрямних ходить каретка із закріпленням до неї вантажним захопленням і з'єднана з ланцюговою передачею.

Залежно від агрегату, що знімається, на вантажний захват надівають відповідні пристрої. Над поперечною канавою, паралельно поздовжній, установлюють двотаврову балку з електричною таллю 3 вантажопідйомністю 2 т.

У комплект посту входить стелаж для змінних пристроїв 4, шафа інструментальна 2 і дві опори 5. Пост комплектують механізованим інструментом — пневмогайковертом ІП-3205, електромеханічним гайковертом для гайок кріплення ресор типу 3-119 і ін.

При роботах на посту, пов'язаних із заміною підкузовного устаткування, тролейбус розміщують на посту таким чином, щоб агрегат, що знімається, розташовувався по осі поперечної канави. Пересувна самохідна естакада 7 і перехідний міст 8 відводяться від поздовжньої канави, а під агрегат підводять пристрій заміни підкузовного обладнання 10 із встановленим на ньому змінним пристроєм, що відповідає даному агрегату.

Контактна мережа в районі ремонтного поста підвішується зі зсувом на відстань 2,5 м убік від осі поздовжньої канави. Для двох поруч розташованих ремонтних постів може влаштовуватися одна загальна поперечна канава.

Безканавний ремонтний пост типу ПМТ-271 (рис. 8.22.3) включає аналогічний набір технологічного устаткування. Основою поста є стаціонарні електромеханічні підйомники, площадки яких в опущеному положенні знаходяться на рівні підлоги.

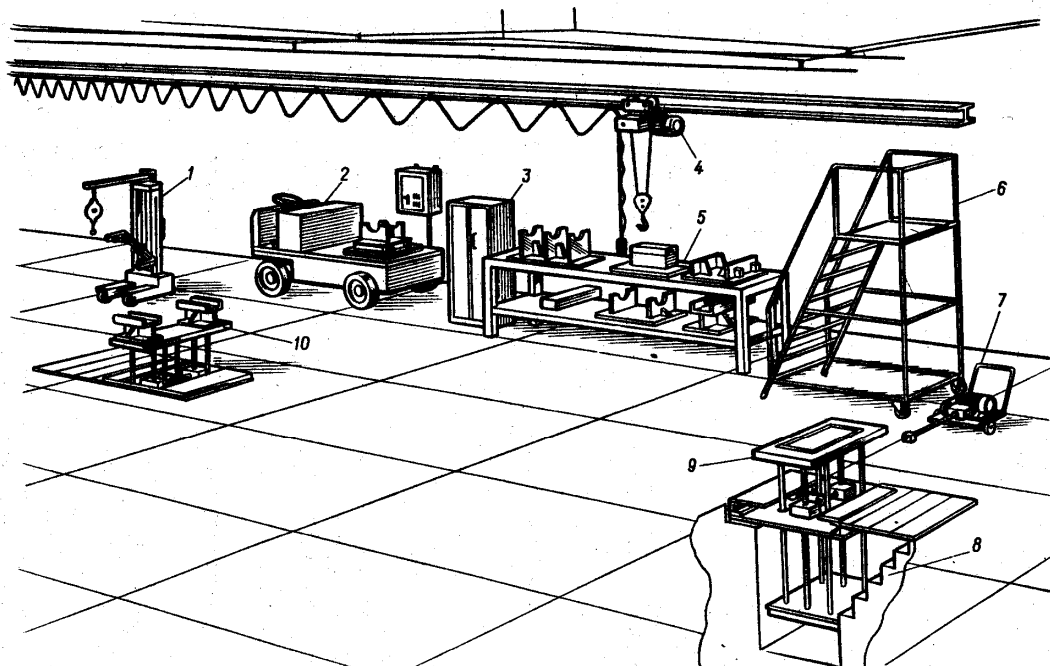


Рис. 8.22.3 – Безканавний ремонтний пост типу ПМТ-271

При заміні агрегатів підкузовного обладнання тролейбуса його встановлюють відповідно до розмітки на підлоги цеху над опущеними підйомниками 9. Потім через прямки 8 на підйомник кріплять опори 10 під лонжерони рами тролейбуса, а також страхувальний пристрій під передній і задній мости.

Установка таких пристроїв необхідна для забезпечення умов безпеки у разі поломки корінного листа ресори в момент піднімання. Після піднімання тролейбуса й установки страхувальних упорів роблять часткове від'єднання карданного вала, а також демонтаж елементів, що зв'язують мости, і тяговий електродвигун з іншими агрегатами.

Подальший демонтаж карданного вала і тягового електродвигуна здійснюють за допомогою електровізка 2. При цьому забирають страхувальні підставки, тролейбус опускають до положення, при якому колеса дотикаються підлоги, повністю від'єднують міст за допомогою електричних гайковертів 7. Потім тролейбус знову піднімають, а мости викочують у зону дії електротельфера 4. Установку агрегатів ведуть аналогічним чином.

Для заміни коліс, маточин, акумуляторних батарей, мотор-компресора та інших агрегатів використовують мобільний пристрій 1. Пост комплектують також стелажем для змінних пристроїв 5, інструментальною шафою 3, пересувною підставкою 6.

Впровадження ремонтних постів типу ПМР-271 підвищує продуктивність праці при заміні агрегатів у середньому на 53%, а ПМТ-270 - на 48%.

Тема 23. Підвищення ефективності технічної експлуатації за рахунок удосконалення технології та збільшення потужності ремонтних підрозділів.

Оптимізація допусків

Для забезпечення працездатності РС робочі параметри, що визначають його стан, повинні знаходитися під час експлуатації в деяких межах, обмежених бракувальними (експлуатаційними) допусками. Вихід параметрів за бракувальні межі призводить до відмови. На планових ремонтах параметри РС встановлюють у більш вузьких межах, що регламентовані ремонтними (упереджувальними) допусками.

Залежно від специфіки параметра та впливу його зміни на працездатність, економічність РС і безпеку руху можуть бути прийняті різні критерії доцільності (або оптимальності) під час вибору ширини поля допуску. Як і в моделях оптимізації міжремонтного періоду, в даному разі можуть бути прийняті два критерії оптимальності ширини поля допуску:

- забезпечення імовірності виходу параметра X за границю бракувального допуску $X_{в,з}$ протягом міжремонтного періоду не вище припустимого значення $p_{в,д}$;
- мінімум сумарних витрат на забезпечення і контроль заданого ремонтного допуску та від погіршення економічності РС за умов відхилення параметра від номінального значення.

У випадку, якщо вихід параметра X за межі допуску призведе до відмови і задана допустима величина імовірності такого виходу $p_{в,д}$, то можна знайти відповідну цій величині ширину поля допуску. Розглянемо модель оптимізації допуску з використання цього критерію. Припустимо, що в початковий момент часу t_0 (на плановому ремонті) є деяке розподілу параметра X із щільністю $f_0(x)$ та відповідні значення m_{x0} та σ_{x0} (рис. 8.23.1). За рахунок встановлення ремонтного допуску $\delta_{в,р}$ на плановому ремонті виконується усічення розподілу параметра.

Щільність усіченого розподілу залежатиме від границі допуску $X_{в,р}$ (підкреслимо, що $X_{в,р} = X_n + \delta_{в,р}$) і має вигляд

$$f_{y0}(x) = c_n f_0(x),$$

де c_n - коефіцієнт нормування:

$$c_n = \frac{1}{\int_{-\infty}^{X_{в,р}} f_0(x) dx}.$$

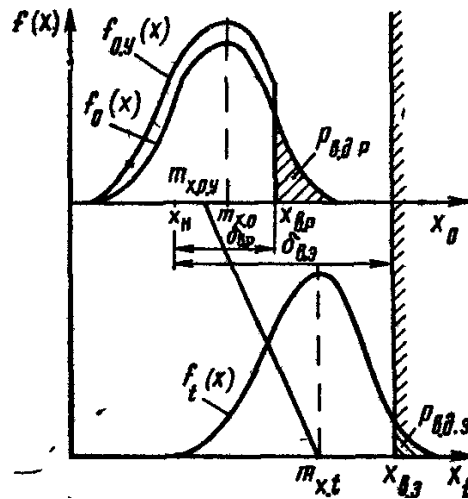


Рис. 8.23.1 – Схема зміни розподілу параметра за час експлуатації

Усічення розподілу призводить до зменшення його математичного сподівання і середнього квадратичного відхилення, які можуть бути знайдені з виразів

$$m_x = \int_{-\infty}^{X_{0.3}} x c_n f_0(x) dx;$$

$$\sigma_x = \int_{-\infty}^{X_{0.3}} (x - m_x)^2 c_n f_0(x) dx.$$

Після експлуатації протягом часу пробігу t параметри розподілу $f_t(x)$ внаслідок зношування зміняться у відповідності з рівняннями

$$m_x = m_0 + \alpha_m t;$$

$$\sigma_x = \sigma_0 + \alpha_\sigma t,$$

де α_m і α_σ — інтенсивності зростання в часі середнього параметра X і його середнього квадратичного відхилення.

Таким чином, до кінця міжремонтного періоду змінюється розподілу параметра X (див. рис. 8.23.1), й щільність $f_t(x)$ буде відрізнятися від $f_0(x)$.

Якщо задана припустима імовірність $p_{0.3}$ виходу параметра за межі експлуатаційного (бракувального) допуску

$$p = P\{X(t) > x_{0.3}\} = 1 - \int_{-\infty}^{X_{0.3}} f_t(x) dx, \quad (8.23.1)$$

то можна знайти такий ремонтний допуск $X_{в.р}$, який забезпечить імовірність відмови за час $t-t_0$ не більше припустимої. Вираз (8.23.1) являє собою рівняння відносно допуску $\delta_{в.р}$, що входить у нього через параметри розподілу $f_t(x)$.

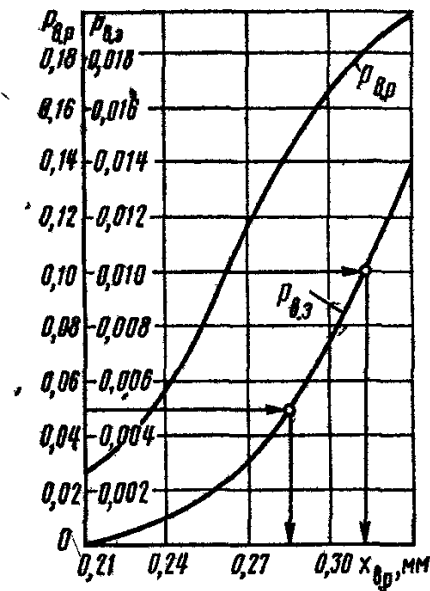


Рис. 8.23.2 – Залежність імовірностей $P_{в.р}$ та $P_{в.е}$ від границі ремонтного допуску на зазор в поршневій головці

Деякі параметри складових частин під час зміни та виході за межі допуску не призводять до відмови, але суттєво погіршують його працездатність та економічність. При визначенні ширини поля ремонтного допуску на різні параметри доцільно застосовувати економічні міркування. Необхідно знаходити таку ширину поля допуску, яка забезпечувала б мінімум сумарних витрат від погіршення економічності та на забезпечення контролю допуску на планових ремонтах.

Від цих параметрів суттєво залежать витрати електроенергії і вони будуть функцією допуску на ці параметри:

$$E_{\tau} = \varphi_d(X_{в.р}). \quad (8.23.2)$$

Функція (8.23.2), очевидно, повинна бути зростаючою, оскільки чим ширше допуск, тим вище питомі витрати електроенергії.

З іншого боку, здійснення більш вузького поля ремонтного допуску пов'язано зі збільшенням витрат у процесі його забезпечення та контролю.

Тому функція цих витрат

$$E_{\partial} = \varphi_{p,\partial}(X_{в,p})$$

має бути спадною.

Сумарні витрати, що залежать від ширини поля допуску,

$$E_{\partial 2} = E_{\tau} + E_{\partial} = \varphi_{\tau}(X_{в,p}) + \varphi_{p,\partial}(X_{в,p}).$$

На рис.8.23.3 показаний принциповий характер графіків залежностей $E_{\partial 2}$, E_{τ} , E_{∂} , від $X_{в,p}$, з якого випливає, що деякому значенню $X_{в,p}$ відповідають мінімальні сумарні витрати $E_{\partial 2min}$. Це поле ремонтного допуску повинно вважатися оптимальним. Для його визначення необхідно прирівняти похідну $dE_{\partial 2}/dX_{в,p}$ до нуля і вирішити отримане рівняння відносно $X_{в,p}$.

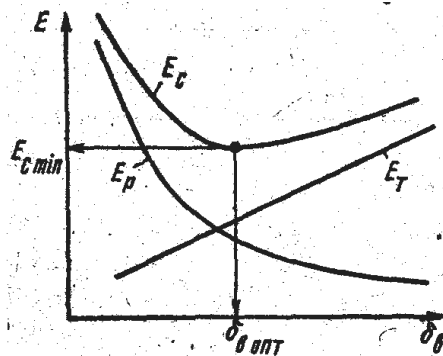


Рис. 8.23.3 – Схема визначення оптимального допуску за мінімумом витрат

Таким чином, розглянуті моделі визначення ремонтних допусків дозволяють удосконалювати й уточнювати систему ремонтних допусків з урахуванням специфіки кожного параметра що регулюється і тим самим підвищити надійність та ефективність системи ремонту.

Спеціалізація ремонтних ділянок

Основним завданням аналізу техніко-економічної доцільності впровадження спеціалізованих ремонтних ділянок є встановлення залежності витрат на ремонт від потужності ремонтної ділянки підприємства. Однак встановлення однозначної відповідності між досліджуваними величинами не можливе, тому що в процесі досліджень неминучий розкид результатів, що не дозволяє одержати однозначні висновки про залежності, які нас цікавлять. Причини відхилень результатів полягають головним чином у тому, що явища,

які спостерігаються, в дійсності є функцією не одного, а ряду аргументів. Наприклад, витрати на ремонт залежать від рівня механізації виробничих процесів, від досконалості технології, організації виробництва та інших факторів, значення яких можуть бути різними навіть на підприємствах однакової потужності. Однофакторний експеримент припускає закріплення некерованих факторів на деякому фіксованому рівні, однак при пасивному експерименті, коли цілеспрямована зміна факторів, що впливають, не виконується, це не може бути ідеально здійснено: частина цих факторів не виявляється при дослідженні, інша частина важко піддається виміру.

Для статистичного аналізу залежності поточних витрат на ремонт від потужності ділянки застосовують апарат кореляційного і регресивного аналізу[29, 30]. Основним завданням кореляційного аналізу є установлення факту, що між випадковими значеннями незалежної і залежної змінних є зв'язок.

Щільність зв'язку між випадковими змінними величинами при лінійній формі зв'язку оцінюють за коефіцієнтом парної кореляції

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\sigma_x \sigma_y},$$

де \overline{xy} – середнє значення добутку значень x_i і y_i ;

\bar{x} – середнє значення x_i ;

\bar{y} – середнє значення y_i ;

σ_x , σ_y – середньоквадратичні відхилення випадкових величин x і y .

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$$

Коефіцієнт кореляції змінюється в межах $-1 \leq r \leq 1$. Якщо $r < 0$, то зв'язок називається зворотним, чи негативним. При $r = \pm 1$ зв'язок між x і y прямолінійний. При $r > -1$ чи $r < 1$ зв'язок кореляційний, причому, чим ближче коефіцієнт кореляції до ± 1 , тим тісніше цей зв'язок. Якщо коефіцієнт кореляції дорівнює чи близький нулю, то між x і y не існує лінійного зв'язку, але можлива нелінійна залежність.

У тому випадку, коли зв'язок між величинами потужності ремонтного заводу і питомих витрат на ремонт не прямолінійний, шукатимемо його у вигляді рівняння регресії.

$$Cy = aM^{-b}, \quad (8.23.3)$$

де a і b – коефіцієнти регресії;

M – потужність ремонтної ділянки.

При прямолінійному зв'язку виду $y = a + bx$ коефіцієнти a і b визначають з використанням методу найменших квадратів з наступної системи рівнянь:

$$\left[\begin{array}{l} na + b \sum_{i=1}^i x_i = \sum_{i=1}^n y_i \\ a \sum_{i=1}^n x_i + b \sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{array} \right], \quad (8.23.4)$$

де n – число спостережень за випадковими величинами x і y ;

x_i, y_i – випадкові значення змінних x і y в i -тому спостереженні.

Шляхом логарифмування рівняння (8.23.3) може бути приведене до лінійного вигляду

$$Lgc = lga - blgM.$$

Тоді система рівнянь (8.23.4) матиме вигляд

$$\left[\begin{array}{l} n lga - b \sum_{i=1}^i l g N_i = \sum_{i=1}^n l g c_i \\ l g a \sum_{i=1}^n l g N_i - b \sum_{i=1}^n (l g N_i)^2 = \sum_{i=1}^n l g N_i l g c_i \end{array} \right].$$

Для оцінки тісноти зв'язку при нелінійній залежності y від x застосовується кореляційне відношення, що змінюється від нуля (відсутність зв'язку) до одиниці (функціональний зв'язок):

$$R = \sqrt{\frac{\sigma_{yx}^2}{\sigma_y^2}};$$

$$\sigma_{yx}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i^p - \bar{y})^2}{n-1};$$

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1},$$

де y_i^p – теоретичне значення величини y , отримане з рівняння регресії при значенні незалежної змінної x_i .

Практичне заняття 6 (до теми 23): розрахунок коефіцієнтів кореляції

Мета заняття: набуття навичок визначення кореляційного зв'язку між показниками виробничих підрозділів та ефективністю діяльності.

Розглянемо визначення кореляційного зв'язку на прикладі залежності вартості ремонту від потужності відповідного виробничого підрозділу. Згідно з вихідними даними, питомі витрати на ремонт залежно від потужності ремонтної ділянки подані у вигляді табл. 8.23.1.

Таблиця 8.23.1 – Питомі витрати на ремонт залежно від потужності ремонтної ділянки

<i>Потужність ремонтної ділянки, ремонтів у рік</i>	50	100	150	200	250	300
<i>Питомі витрати на ремонт, грн</i>	1,30	1,19	1,13	1,05	0,87	0,97

Перевірку наявності і тісноти зв'язку між потужністю ділянки і питомими витратами на ремонт почнемо з розрахунку середньої потужності і середніх питомих витрат, а також середнього значення їхнього добутку:

$$\bar{x} = (50 + 100 + 150 + 200 + 250 + 300) / 6 = 175$$

$$\bar{y} = (1,3 + 1,19 + 1,13 + 1,05 + 0,87 + 0,97) / 6 = 1,085 = 1,1$$

$$\overline{xy} = (50 \cdot 1,3 + 1,19 \cdot 100 + 1,13 \cdot 150 + 1,05 \cdot 200 + 0,87 \cdot 250 + 300 \cdot 0,97) / 6 = 178,66$$

Визначимо дисперсії:

$$\sigma_x = \sqrt{((50 - 175)^2 + (100 - 175)^2 + (150 - 175)^2 + (200 - 175)^2 + (250 - 175)^2 + (300 - 175)^2) / 5},$$

$$\sigma_x = 93,54.$$

$$\sigma_y = \sqrt{((1,3 - 1,1)^2 + (1,19 - 1,1)^2 + (1,13 - 1,1)^2 + (1,05 - 1,1)^2 + (0,87 - 1,1)^2 + (0,97 - 1,1)^2) / 5},$$

$$\sigma_y = 0,155.$$

Тоді коефіцієнт кореляції дорівнюватиме

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} = \frac{178,66 - 175 \cdot 1,1}{93,54 \cdot 0,155} = 0,77.$$

Розраховане значення r порівняємо з критичним, що наведено у табл. 8.23.2 для $\alpha = 0,05$ ($p = 0,95$) і 6 ступенів свободи, яке дорівнює 0,7.

Таблиця 8.23.2 – Критичні значення коефіцієнта парної кореляції
при $\alpha = 0,05$

Число ступенів свободи f	Критичне значення r	Число ступенів свободи f	Критичне значення r	Число ступенів свободи f	Критичне значення r
1	0,997	9	0,602	17	0,456
2	0,950	10	0,576	18	0,444
3	0,878	11	0,553	19	0,433
4	0,811	12	0,532	20	0,423
5	0,754	13	0,514	30	0,349
6	0,707	14	0,497	50	0,273
7	0,666	15	0,482	80	0,217
8	0,632	16	0,468	100	0,195

Таким чином, можна зробити висновок, що існує лінійний зв'язок між вартістю ремонту і потужністю ремонтної ділянки.

Практичне заняття 7 (до теми 23): визначення параметрів регресії

Мета заняття: набуття навичок обробки даних при нелінійній залежності результату від причини.

Розглянемо зв'язок між собівартістю ремонту і потужністю відповідної виробничої ділянки. Зі звітних даних маємо значення кількостей здійснених ремонтів однієї номенклатури (перша колонка таблиці) та їх собівартостей (друга колонка). Як видно, чим більша кількість ремонтів (потужність відповідної ділянки), тим менша собівартість, але зв'язок між ними нелінійний, і для його визначення підрахуємо коефіцієнти рівняння регресії.

Відповідно до викладеного вище, проробимо розрахунки.

Таблиця 8.23.3 – Розрахунок коефіцієнтів рівняння залежності собівартості ремонту від потужності виробничої ділянки

	n_I	C_I	$\lg n_i$	$\lg C_I$	$(\lg n_I)^2$	$\lg n_I \cdot \lg C_I$
1	50	1,3	1,69897	0,1139434	2,8864991	0,1935863
2	100	1,19	2	0,075547	4	0,1510939
3	150	1,13	2,1760913	0,0530784	4,7353732	0,1155035
4	200	1,05	2,30103	0,0211893	5,294739	0,0487572
5	250	0,87	2,39794	-0,060481	5,7501163	-0,145029
6	300	0,97	2,4771213	-0,013228	6,1361297	-0,032768
Разом			13,051153	0,190049	28,802857	0,3311438

Підставляючи дані з таблиці в рівняння регресії, одержимо

$$6 \cdot \lg(a) - 13,05 \cdot b = 0,19;$$

$$13,05 \cdot \lg(a) - 28,8 \cdot b = 0,3 .$$

Виконавши множення, маємо

$$28,8 \cdot 6 \cdot \lg(a) - 28,8 \cdot 13,05 \cdot b = 0,19 \cdot 28,8;$$

$$-13,05 \cdot 13,05 \cdot \lg(a) + 28,8 \cdot 13,05 \cdot b = -0,33 \cdot 13,05.$$

Продовжимо розрахунки:

$$28,8 \cdot 6 \cdot \lg(a) - 13,05 \cdot 13,05 \cdot \lg(a) = 0,19 \cdot 28,8 - 0,33 \cdot 13,05,$$

звідси

$$\lg(a) = (0,19 \cdot 28,8 - 0,33 \cdot 13,05) / (6 \cdot 28,8 - 13,05^2) = 0,407.$$

Тоді $a=10^{0,407}=2,55$, і підставляючи $lg(a)=0,407$, одержимо:

$$6 \cdot 0,407 - 13,05 \cdot b = 0,19,$$

звідки

$$b = (0,19 - 6 \cdot 0,407) / (-13,6) = 0,166.$$

Отже рівняння залежності питомих витрат від потужності підприємства матиме вигляд

$$C_y = 2,55 M^{-0,166}.$$

Значення σ_y^2 отримаємо, звівши в квадрат раніше розраховане значення стандартного відхилення σ_y . Маємо:

$$\sigma_y^2 = 0,155^2 = 0,024.$$

Для розрахунку σ_{yx}^2 складемо таблицю.

Таблиця 8.23.4

Потужність ремонтної ділянки - кількість ремонтів у рік, Мі (чи X_i)	50	100	150	200	250	300	Середнє значення
Питомі витрати на ремонт, грн., фактичні	1,30	1,19	1,13	1,05	0,87	0,97	
Питомі витрати на ремонт, розраховані за формулою	1,33	1,19	1,11	1,06	1,02	0,99	0,64

Підставляючи дані з таблиці у формулу, одержимо

$$\sigma_{yx}^2 = ((1,33-1,1)^2 + (1,19-1,1)^2 + (1,11-1,1)^2 + (1,06-1,1)^2 + (1,02-1,1)^2 + (0,99-1,1)^2) / 5,$$

$$\sigma_{yx}^2 = 0,016.$$

Далі одержимо значення кореляційного відношення

$$R = \sqrt{\frac{0,016}{0,024}} = 0,82.$$

Як видно з отриманого значення кореляційного відношення, існує тісний зв'язок між собівартістю ремонту і потужністю ремонтної ділянки.

Тема 24. Підвищення ефективності використання ресурсів підприємства

Раціональне використання кваліфікації верстатників

При визначенні чисельності робітників типовим є завдання визначення оптимальної чисельності робочих, які обслуговують декілька верстатів. Якщо один або декілька робітників будуть обслуговувати більше верстатів, то збільшується продуктивність праці, а витрати на заробітну плату в розрахунку на одиницю продукції зменшаться. З іншої сторони, умовно сталі витрати на одиницю продукції, що включають затрати на утримання обладнання, збільшаться, тому що продуктивність обладнання зменшиться внаслідок збільшення простою обладнання. Оптимальною кількістю обладнання, яке обслуговується одним або декількома робітниками, буде таке, за яким сума витрат на одиницю продукції буде мінімальною.

Критерієм оптимальності може бути величина витрат S на один верстат, який працює:

$$S=(NC_e+MC_p)/Q,$$

де C_e – умовно сталі витрати на один верстат за одиницю часу;

C_p – заробітна плата з начисленням на одного робітника, що обслуговує декілька верстатів в одиницю часу;

Q – кількість верстатів, які працюють;

N – кількість верстатів, що обслуговується;

M – кількість робітників, які зайняті обслуговуванням N верстатів.

Щоб забезпечити оптимальну чисельність робітників при багатоверстатному обслуговуванні, треба врахувати обмеження за обсягом існуючих виробничих ресурсів, наприклад за чисельністю робітників різних професій, кількістю обладнання, встановленою програмою випуску продукції. При цьому можливі значення M і N вибирають тільки в межах встановлених обмежень. Кожна одиниця обладнання може працювати, обслуговуватися або очікувати обслуговування, тобто із загальної кількості N верстатів, які обслуговуються, працює Q верстатів, H обслуговуються і L очікують обслуговування:

$$N=Q+H+L.$$

Для вибору з кількості варіантів багатоверстатного обслуговування, які розглядаються, оптимально необхідно для кожної пари значень верстатів N і кількості робітників M визначити величини Q , H та L . Для цього використовують теорію масового обслуговування.

Для вибору моделі процесу насамперед треба визначити, з якою кількістю вимог на обслуговування маємо справу. Як правило, в теорії масового обслуговування розглядаються дві принципові ситуації щодо кількості вимог на обслуговування [10]:

- необмежена кількість вимог в джерелі живлення - „розімкнена система масового обслуговування”, яка характеризується тим, що потік вимог на обслуговування не залежить від вихідного потоку з обслуговування;

- обмежена кількість вимог у джерелі живлення - „замкнута система”, яка характеризується тим, що інтенсивність надходження вимоги на обслуговування залежить від кількості вимог, які повернулися в джерело живлення.

Для замкнутої системи масового обслуговування інтенсивність потоку кожен раз змінюється стрибком при надходженні нової вимоги на обслуговування від джерела та закінченні обслуговування.

Числові характеристики такої системи масового обслуговування визначають за наступними формулами:

1. Імовірність того, що всі робітники-багатоверстатники вільні:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^M \frac{N!}{k!(N-k)!} \rho^k + \sum_{k=M+1}^N \frac{N!}{M^{k-M} M!(N-k)!} \rho^k},$$

де $\rho = \lambda/\mu$;

λ – середня частота надходження вимог від одного верстата в одиницю часу;

μ – кількість вимог, яке може обслужити один робітник за одиницю часу при безперервному обслуговуванні, $\mu = 1/T_p$;

T_p – середня тривалість обслуговування однієї вимоги.

2. Імовірність того, що в системі знаходиться k вимог ($M \leq k \leq N$)

$$P_k = \frac{N!}{M^{k-M} M!(N-k)!} \rho^k P_0.$$

3. Середня кількість верстатів, які працюють:

$$Q = \sum_{k=0}^N (N-k) P_k.$$

4. Середня кількість верстатів, які очікують обслуговування:

$$L = \sum_{k=M+1}^N (k-M)P_k .$$

Оптимізація обсягів запасів

У зальному вигляді кількість запасних частин, яка буде витрачена на відновлення рухомого складу, може бути розрахована за формулою

$$\lambda_j = N_{kr}K_{bkr} + N_{cr}K_{bcr} + N_{TO2}K_{bTO2} + N_{TO1}K_{bTO1} + N_{що}K_{bщо} + N_{нр}K_{бнр}, \quad (8.24.1)$$

де K_{bkr} , K_{bcr} , K_{bTO2} , K_{bTO1} , $K_{bщо}$, $K_{бнр}$ – коефіцієнти, що вказують на долю складових частин (деталей) типу J , яка буде замінена під час обслуговування та ремонту рухомого складу за добу.

Ця кількість i є потоком деталей на відновлення. У формулі (8.24.1) складові, що характеризують кількість деталей, які поступають з планових ремонтів, є майже сталими величинами, тоді як кількість деталей, що поступає з технічного обслуговування і поточних ремонтів, має розкид, тобто імовірнісний характер.

З практики відомо, що іноді на складах депо відсутні запасні частини й матеріали одних найменувань і в той же час є надлишки деталей інших найменувань. У разі відсутності необхідних запасних частин у слід за відмовою РС настає його примусовий простій, що приводить до збитків. Якщо ж є зайві запасні частини, то це також пов'язано із збитками внаслідок «замороження» фінансових коштів і витрат на збереження. Однією з причин, що приводять до вказаних недоліків, є відсутність обґрунтованих методів визначення потреби в запасних частинах.

Для визначення оптимальних розмірів оборотного фонду використовують методи теорії масового обслуговування і теорії управління запасами [10, 31].

Застосування методів теорії масового обслуговування доцільно в тому випадку, коли знятий з тролейбуса агрегат ремонтується на тому ж підприємстві.

Методи теорії управління запасами доцільно застосовувати тоді, коли знятий на одному підприємстві агрегат відправляється для ремонту на інше підприємство.

Принципова відмінність цих двох ситуацій полягає в тому, що в першому випадку знятий з транспортного засобу агрегат відразу надходить у ремонт або на склад ремонтного фонду. У другому випадку агрегати відправляють у ремонт партіями. При цьому час очікування ремонту збільшується на величину, необхідну для комплектування партії агрегатів. Тому відповідно повинен бути збільшений розмір оборотного фонду. Крім того, при відправленні агрегатів у ремонт партіями додатково необхідно визначити оптимальний обсяг партії агрегатів, що направляються в ремонт, і критичний рівень їх запасів на складі, при якому слід відправляти чергову партію агрегатів. Ці завдання вирішуються методами теорії управління запасами.

Розглянемо спочатку клас задач, розв'язуваних методами теорії масового обслуговування. Характерним завданням цього класу є визначення оптимального розміру оборотного фонду агрегатів, що підлягають ремонту на заводі, який виконує повнокомплектний ремонт рухомого складу.

Розміри оборотного фонду агрегатів повинні бути достатніми для забезпечення ритмічної роботи технічної служби і разом з тим не бути зайвими, щоб уникнути «заморожування» оборотних коштів і збільшення витрат на ремонт транспортних засобів. З урахуванням цього за критерій оптимальності при визначенні розмірів оборотного фонду агрегатів слід приймати мінімум сумарних витрат $C(S)$, пов'язаних з обсягом запасів і втрат від простою, викликаних відсутністю оборотних агрегатів на складі:

$$C(S) = C_a \cdot S + C_{np} \cdot D \cdot m_s,$$

де C_a – середньорічні витрати на придбання і збереження одного агрегату на складі оборотного фонду;

S – число агрегатів в оборотному фонді;

C_{np} – добові втрати від простою транспортного засобу;

D – число робочих днів у році;

m_s – середня довжина черги тролейбусів або трамвайних вагонів, що очікують заміни агрегатів, при величині оборотного фонду S агрегатів.

Оборотний фонд створюється за рахунок постачань нових і відновлених агрегатів.

Для визначення середньої довжини черги транспортних засобів, що очікують заміни агрегатів, оборотний фонд агрегатів розглядається як система масового обслуговування.

Розглянута система масового обслуговування є багатоканальною, в якій кожний оборотний агрегат відповідно до термінології теорії масового

обслуговування являє собою канал обслуговування. Канал вважається зайнятим з того моменту, як оборотний агрегат взятий зі складу, до моменту надходження на його місце іншого агрегату (нового чи відремонтованого). Таким чином, процедура обслуговування полягає не в заміні агрегату на транспортному засобі, а в заміні його на складі. Відповідно, тривалістю обслуговування є тривалість ремонту агрегату. Якщо в розглянутій системі потік вимог на заміну агрегатів є пуассонівським, тривалість їхнього ремонту має експоненціальне розподілу і ремонт агрегатів виконується в порядку їхнього надходження, то для такої системи може бути визначена середня довжина черги транспортних засобів, що очікують заміни агрегатів, з виконанням умови

$$\lambda < \mu S \text{ або } \rho < S, \quad (8.24.2)$$

де $\rho = \lambda / \mu$, а S – число агрегатів, що зберігаються на складі оборотного фонду.

При невиконанні умови (8.24.2) черга транспортних засобів, що очікують заміни агрегатів, буде необмежено рости. Якщо умова (8.24.2) виконується, середня довжина черги транспортних засобів може бути визначена згідно з формулою

$$\overline{m_s} = \frac{\rho^{s+1}}{(s-1)!(S-\rho)^2} P_0;$$

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{R=0}^{S-1} \frac{\rho^R}{R!} + \frac{\rho^S}{S!(1-\rho/S)}}.$$

Управління надходженням запасів

Якщо заміна агрегатів виконується в депо, а їх ремонт - на ремонтному заводі, то відправлення агрегатів до ремонту виконують партіями. Це дозволяє ефективно використовувати транспортні засоби, якими виконується перевезення агрегатів, але одночасно призводить до втрат часу під час очікування відправлення агрегатів. За малими обсягами партій агрегатів збільшується частота відправлення агрегатів до ремонту і з ремонту, звідси б збільшувалися накладні витрати, пов'язані з комплектуванням і відправкою партій. Укрупнення партій агрегатів з метою зменшення накладних витрат призводить до збільшення втрат на очікування ремонту трамвайних вагонів і тролейбусів. Оптимальна партія агрегатів, що направляються в ремонт, може бути визначена із застосуванням теорії управління запасами.

Під час побудови моделі управління запасами керуються наступним правилом: під час досягнення обсягу запасу на складі оборотного фонду деякого критичного рівня ε в ремонт направляють партію виробів обсягом θ . Вибір тих чи інших значень параметрів ε та θ будемо називати стратегією управління запасами, а оптимальною стратегією таку, за якої сумарні витрати на забезпечення працездатності рухомого складу будуть мінімальні.

Довжина відрізка часу L від моменту відправлення до моменту отримання відремонтованої партії виробів у днях, називається інтервалом упередження і повинна бути заздалегідь відомою.

Під час побудови моделі приймають наступні пропозиції:

- розподілу імовірностей надходження вимог на склад оборотних агрегатів є пуассонівським і не залежить від того, коли рівень запасу досягне свого критичного значення ε ;
- вибір стратегії управління запасами виконується один раз і вибрана стратегія застосовується протягом всього розглянутого періоду;
- для оптимальної стратегії критичний рівень $\varepsilon > 0$, і на будь-якому інтервалі упередження фактичні витрати агрегатів не перевищують обсягу партії, що направлена до ремонту.

Остання пропозиція також означає, що в будь-який момент часу число партій агрегатів, що знаходяться в ремонті, не може бути більше однієї.

Очікуванні сумарні витрати на забезпечення працездатності РС складаються з вартості ремонту й заміни агрегатів, тарифної плати за їх перевезення, витрат на роботи з навантаження і розвантаження, на придбання і збереження оборотного фонду та втрат від простоїв РС внаслідок відсутності на складі оборотних агрегатів.

До критерію оптимальності треба включати тільки ті складові сумарних витрат, які залежать від вибору стратегії управління запасами, тобто плату за перевезення, затрати на придбання і збереження оборотного фонду та втрати від простою РС внаслідок відсутності на складі оборотних агрегатів.

Тарифну плату за перевезення за одиницю часу визначають згідно з формулою

$$S\lambda/\theta,$$

де λ/θ – середнє число партій агрегатів, які відправлені в ремонт за одиницю часу;

S – вартість транспортування партії .

Розглянемо відрізок часу між двома послідовними відправками агрегатів до ремонту. Можливі дві ситуації: перша, коли фактичний обсяг вимог на заміну агрегатів на інтервалі упередження менше критичного обсягу запасів ε , тобто $m_L < \varepsilon$, друга, коли $m_L > \varepsilon$.

Очікуваний середній рівень запасів на одиничному відрізку часу складає величину

$$\frac{\theta}{2} - \lambda L + \varepsilon + \frac{\lambda L}{2\theta} \sum_{m_L > \varepsilon} (m_L - \varepsilon) P_m(L), \quad (8.24.3)$$

де $P_m(L)$ – імовірність надходження в систему за час L рівно m вимог :

$$P_m(L) = \frac{(\lambda L)^m}{m!} e^{-\lambda L}.$$

Вираз (8.24.3) отримано з розгляду відрізка часу між двома послідовними відправленнями партій агрегатів до ремонту. Цей вираз є середньовиваженим значенням очікуваного рівня запасів на інтервалі упередження і на відрізку після отримання партії відремонтованих агрегатів до відправлення іншої партії. „Вагами” тут є величина $\lambda L / \theta$, яка є часткою часу, протягом якої система функціонує в режимі очікування партії відремонтованих агрегатів.

Очікуваний дефіцит агрегатів на одиничному відрізку часу складає:

$$\frac{\lambda}{\theta} \sum_{m_L > \varepsilon} (m_L - \varepsilon) P_m(L). \quad (8.24.4)$$

Додаємо вираз (8.24.4) з множенням на середньодобові витрати, які пов’язані з придбанням та збереженням одного агрегату (Ua/D) до виразу (8.24.3), що помножений на середньодобові витрати від простою РС , отримуємо очікувані середні витрати за одиницю часу:

$$U_{ож} = \frac{S\lambda}{\theta} + \frac{Ua}{D} \left(\frac{\theta}{2} - \lambda L + \varepsilon \right) + \left(\frac{Ua\lambda L}{2D\theta} + \frac{\lambda U_{np}}{\theta} \right) \sum_{m_L > \varepsilon} (m_L - \varepsilon) P_m(L). \quad (8.24.5)$$

Знайдемо часткову похідну $dU_{ож}/d\theta$, і прирівнявши її до нуля, знайдемо рішення відносно θ , що і буде його оптимальним значенням:

$$\theta_{op} = \sqrt{\frac{2S\lambda D}{Ua} + \left(\lambda L + \frac{2\lambda UnD}{Ua} \right) \sum_{m_L > \varepsilon} (m_L - \varepsilon) P_m(L)}. \quad (8.24.6)$$

До формули (8.24.6) входить невідоме значення ε . Можна показати, що оптимальне значення ε ($\varepsilon \gg 0$) є найменше з цілих чисел, що задовольняють умові

$$\sum_{j=0}^k P_j(L) > R = 1 - \frac{\theta}{\lambda \left(\frac{L}{2} + \frac{UnpD\phi}{Ua} \right)}. \quad (8.24.7)$$

Точніше це можна сформулювати так: обсяг партії агрегатів θ і критичний рівень запасів ε є оптимальними, якщо вони одночасно задовольняють виразам (8.24.6) та (8.24.7). Для вирішення цієї системи використовують ітераційний метод.

Крок 1. Задамося початковим пробним значенням θ , рівним

$$\theta = \sqrt{\frac{2S\lambda D}{Ua}}.$$

Крок 2. Розрахуємо праву частину нерівності (8.24.7), для пробного значення θ і знайдемо відповідне пробне значення ε .

Крок 3. Закінчити розрахунки, якщо нове пробне значення ε співпадає з попереднім. В іншому випадку за допомогою (8.24.6) слід нове пробне значення θ , після чого повернутися до кроку 1.

Підставивши розраховане значення θ_{opt} у формулу (8.24.5), можна визначити мінімальні середні витрати в одиницю часу. Оскільки в одиницю часу виконується λ замін агрегатів, питомі (в розрахунку на одну заміну) приведені витрати на створення, утримання та поповнення оборотного фонду, визначаються за формулою (8.24.5) в якій усі складові поділені на λ , тобто

$$d = \frac{S}{\theta} + \frac{Ua}{\lambda D} \left(\frac{\theta}{2} - \lambda L + \varepsilon \right) + \frac{1}{\theta} \left(\frac{UaL}{2D} + Unp \right) \sum_{m_L > \varepsilon} (m_L - \varepsilon) P_m(L).$$

Практичне заняття 8 (до теми 24): визначення оптимальної кількості робітників ремонтної сфери

Мета заняття: ознайомлення з методикою розрахунку кількостей працівників окремих категорій.

Визначимо оптимальну кількість робітників-багатоверстатників, які обслуговують 10 верстатів ($N=10$). Відомо, що інтенсивність обслуговування верстатів одним робітником складає 20 вимог за годину ($\mu=20$). Потік вимог, які надходять на обслуговування, є пуассонівським із середньою частотою надходження вимог від одного верстата $\lambda=4$ вимоги за годину. Умовно сталі витрати на один верстат складають 1,5 грн./год., заробітна плата робочого з нарахуваннями - 0,8 грн/год.

Розрахунок починаємо з визначення параметру $\rho=\lambda/\mu=4/20=0,2$. Прийmemo початково, що кількість робочих дорівнює 2 ($M=2$) і складемо таблицю обчислень розрахункових характеристик. Відношення імовірностей P_0 і P_k визначається за формулами

$$\frac{P_k}{P_0} = \frac{N!}{k!(N-k)!} \rho^k \text{ - для } k \leq M;$$

$$\frac{P_k}{P_0} = \frac{N!}{M^{k-M} M!(N-k)!} \rho^k \text{ - для } k > M,$$

які є складовими знаменника формули для визначення величини P_0 .

Просумуємо ці складові і отримаємо :

$$P_0 = 1/8,3165 = 0,1202.$$

Таблиця 8.24.1 – Розрахункові значення

k	$M=2$			$M=3$			$M=4$		
	P_k/P_0	P_k	$(N-k)P_k$	P_k/P_0	P_k	$(N-k)P_k$	P_k/P_0	P_k	$(N-k)P_k$
0	1	0,1202	1,2020	1	0,1546	1,5460	1	0,1606	1,6060
1	2	0,2404	2,1636	2	0,3092	2,7828	2	0,3212	2,8908
2	1,8	0,2164	1,7312	1,8	0,2783	2,2264	1,8	0,2891	2,3128
3	1,44	0,1731	1,2117	0,96	0,1484	1,0388	0,96	1,1542	1,0784
4	1,008	0,1212	0,7272	0,448	0,0693	0,4158	0,336	0,0540	0,3240
5	0,6048	0,0727	0,3635	0,1792	0,0277	0,1385	0,1008	0,0162	0,0810
6	0,3024	0,0363	0,1452	0,0597	0,0092	0,0368	0,0252	0,0040	0,0160
7	0,1210	0,0145	0,0435	0,0159	0,0025	0,0075	0,0050	0,0008	0,0024

k	$M=2$			$M=3$			$M=4$		
	P_k/P_0	P_k	$(N-k)P_k$	P_k/P_0	P_k	$(N-k)P_k$	P_k/P_0	P_k	$(N-k)P_k$
8	0.0363	0.0014	0,0088	0,0032	0,0005	0,0010	0,0008	0,0001	0,0002
9	0,0036	0.0004	0,0004	0,0004	0.0001	0,0001	0,0001	0	0
10	0,0004	0	0	0	0	0	0	0	0
	8,3165	0,9996	7,5971	6,4664	0,9998	8,1937	6,2279	1,0002	8,3126

Використовуючи отримані значення P_0 і відношення P_k/P_0 , розрахуємо імовірності P_k для $k=1,2,\dots,10$, а потім числа, що записані в графі $(N-k)P_k$. Їх сума є середнє число верстатів, які працюють, $Q=7,5971$.

Визначимо витрати за годину на один верстат, який працює, при $N=10$, $M=2$:

$$S=(10 \cdot 1,5 + 2 \cdot 0,8) / 7,5971 = 2,19 \text{ грн.}$$

Збільшимо на одиницю кількість робітників, тобто $M=3$, і повторимо обчислення. Для $M=3$ витрати на один верстат за годину складатимуть:

$$S=(10 \cdot 1,5 + 3 \cdot 0,8) / 8,1937 = 2,12 \text{ грн.}$$

Ще збільшимо на одиницю кількість робітників, тобто $M=4$ і повторимо обчислення. Для $M=4$ витрати на один верстат за годину складатимуть:

$$S=(10 \cdot 1,5 + 4 \cdot 0,8) / 8,3126 = 2,19 \text{ грн.}$$

Збільшення витрат для $M=4$ у порівнянні до $M=3$ означає, що оптимальним буде кількість робітників, яка дорівнює 3.

Практичне заняття 9 (до теми 24): визначення оптимального розміру оборотного фонду

Мета заняття: отримання навичок розрахунку оптимальних розмірів оборотних фондів деталей, запчастин та агрегатів.

Розглянемо методику визначення оптимального розміру оборотного фонду на прикладі тягових двигунів. Встановлено, що потік заявок на заміну тягових двигунів є простим з інтенсивністю $\lambda=3$ двигуна за добу. Встановлено, що тривалість ремонту підпорядковується експоненціальному закону розподілу, що має середню величину 2 доби. Тоді інтенсивність потоку обслуговування складатиме $\mu=0,5$ двигуна за добу; середньорічні витрати на придбання і збереження одного двигуна на складі дорівнюють $C_a=100$ грн. Добові втрати від простою транспортного засобу $C_{np}=25$ грн. Річний фонд робочого часу - 253 доби.

Визначаємо мінімальний обсяг оборотного фонду:

$$S > \rho = \lambda / \mu = 3 / 0,5 = 6,$$

тобто мінімальний розмір оборотного фонду повинен бути 7 двигунів.

За наведеними вище формулами визначимо середню довжину черги транспортних засобів при $S=7$, що будуть простоювати в ремонті:

$$P_0 = \frac{1}{\frac{8^0}{0!} + \frac{8^1}{1!} + \frac{8^2}{2!} + \frac{8^3}{3!} + \frac{8^4}{4!} + \frac{8^5}{5!} + \frac{8^6}{6!} + \frac{8^7}{6!} + \frac{8^8}{7!} + \frac{8^9}{9!(1-8/9)}} = 0,00156,$$

$$\overline{m_s} = \frac{6^{7+1}}{(7-1)!(7-6)^2} \cdot 0,00156 = 3,64.$$

Визначаємо сумарні витрати:

$$C(9) = 100 \cdot 7 + 25 \cdot 253 \cdot 3,64 = 23\,723 \text{ грн.}$$

Аналогічно виконуємо розрахунки для $S=8, 9, 10 \dots$, доти, поки для деякого значення S^* не отримаємо мінімальних витрат на утримання оборотного фонду, S^* у цьому випадку і буде оптимальним розміром оборотного фонду. Результати розрахунку зводимо в табл. 8.24.2.

Таблиця 8.24.2 – Розрахунок оптимального розміру оборотного фонду

Число одиниць оборотного фонду, S	Середня довжина черги	Середньорічні витрати, грн.		
		На створення і утримання оборотного фонду	На компенсування втрат від простою транспортних засобів	Сумарні витрати
6	∞	600	∞	∞
7	3,64	700	23023	23723
8	1,07	800	6768	7568
9	0,39	900	2467	3367
10	0,15	1000	949	1940
11	0,06	1100	380	1480
12	0.02	1200	127	1327
13	0,01	1300	163	1363

Як видно з табл. 8.24.2, оптимальний розмір оборотного фонду складає 12 агрегатів.

Практичне заняття 10 (до теми 24): управління оборотними запасами

Мета заняття: отримання уявлень про методику визначення оптимальної стратегії управління оборотними запасами.

Визначимо оптимальну стратегію управління оборотними запасами на прикладі тягових двигунів, якщо їх ремонт виконується на ремонтному заводі. Визначено, що потік вимог на заміну двигунів є пуассонівським з інтенсивністю $\lambda=0,3$ двигуна за добу. Інтервал упередження $L=20$ діб. Витрати на транспортування партії двигунів складають 12 грн. Середньорічні витрати, які пов'язані з придбанням та збереженням одного двигуна на складі, складають 100 грн, добові втрати від простою одного тролейбуса –25 грн, кількість робочих днів в році 253.

Розрахуємо згідно з наведеною вище формулою імовірності надходження в систему за 20 діб рівно m_{20} вимог на заміну двигунів й накопичені імовірності. Розрахунки зведемо до табл. 8.24.3

Таблиця 8.24.3

J	0	1	2	3	4	5	6	7
$P_j(20)$	0,002	0,015	0,045	0,090	0,135	0,162	0,162	0,139
$\Sigma P_j(20)$	0,002	0,17	0,062	0,152	0,287	0,449	0,611	0,75
J	8	9	10	11	12	13	14	15
$P_j(20)$	0,103	0,066	0,04	0,022	0,011	0,005	0,002	0,001
$\Sigma P_j(20)$	0,853	0,919	0,959	0,981	0,992	0,997	0,999	1,0

Визначимо початкове значення θ .

$$\theta = \sqrt{\frac{2S\lambda D}{Ua}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 12 \cdot 0,3 \cdot 253}{100}} = 4,3.$$

Прийmemo $\theta=5$ і розрахуємо величину R :

$$R = 1 - \frac{5}{0,3 \left(\frac{20}{2} + \frac{25 \cdot 253}{100} \right)} 1 - 0,2275 = 0,7725.$$

Згідно з таблицею визначаємо, що найменше з цілих чисел ε дорівнює 8. Підставимо значення ε до попередньої формули та розрахуємо нове пробне значення θ .

$$\theta_{op} = \sqrt{\frac{212 \cdot 0,3 \cdot 253}{100} + \left(0,3 \cdot 20 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 25 \cdot 253}{100}\right) \sum_{m=9}^{15} (m-8) P_m(20)} = 5,6.$$

Прийmemo $\theta=6$ і визначимо нову величину R :

$$R = 1 - \frac{6}{0,3 \left(\frac{20}{2} + \frac{25 \cdot 253}{100} \right)} = 1 - 0,2730 = 0,7270.$$

Використовуючи таблицю, знайдемо нове значення $\varepsilon=7$. Підставляємо нове значення ε і розрахуємо нове значення θ .

$$\theta_{op} = \sqrt{\frac{2 \cdot 12 \cdot 0,3 \cdot 253}{100} + \left(0,3 \cdot 20 + \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 25 \cdot 253}{100}\right) \sum_{m=9}^{15} (m-7) P_m(20)} = 6,5.$$

Прийmemo $\theta=7$ і визначимо величину R :

$$R = 1 - \frac{7}{0,3 \left(\frac{20}{2} + \frac{25 \cdot 253}{100} \right)} = 1 - 0,3185 = 0,6815.$$

Використовуючи ту ж таблицю, знаходимо найменше значення ε . Це значення дорівнює 7 і співпадає з попереднім. Отже розрахунки можна вважати закінченими. Таким чином, оптимальна стратегія управління запасами оборотними агрегатами формулюється так: при досягненні величини запасу справних агрегатів в кількості 7 штук відправити до ремонту 7 несправних агрегатів, які будуть відремонтовані через 20 днів і доповнять оборотний фонд.

Тема 25. Інформаційні технології в системі технічного обслуговування і ремонту рухомого складу

Автоматизоване робоче місце інженера технічного відділу

Широке впровадження персональних комп'ютерів на підприємствах міського електротранспорту обумовило можливість автоматизації обліку й обробки інформації про технічний стан рухомого складу та його роботу [32]. Серед значної кількості програмних засобів, які призначені для ведення обліку

і аналізу роботи та технічного стану рухомого складу, найбільше поширення набув пакет програм для автоматизованого робочого місця інженера технічного відділу депо „АРМ ТВД”. Цей пакет призначений для застосування у технічному відділі трамвайного (тролейбусного) депо або службі рухомого складу і дозволяє інженеру оперативно отримувати оброблену інформацією про роботу і надійність рухомого складу [33].

Пакет прикладних програм з обліку роботи РС, який розроблений в Науково-дослідному та конструкторсько-технологічному інституті міського господарства, складається з трьох частин:

1. Облік пробігів і ремонтів рухомого складу;
2. Облік несправностей та відмов рухомого складу на лінії;
3. Облік роботи пневматичних шин (може використовуватися і для ведення обліку роботи інших агрегатів, машин та вузлів рухомого складу, яка мають індивідуальні номери, система обліку яких аналогічна системі обліку роботи пневматичних шин).

Програма «Облік пробігів і ремонтів РС»

Даний пакет програм призначений для ведення обліку пробігу рухомого складу, формування графіків виконання планових і обліку непланових ремонтів. При повному освоєнні пакета програм витрати часу на ведення даної інформації будуть складати не більше 30 хв. в день при ручному введенні добового пробігу парку на 200 одиниць рухомого складу. При перезаписуванні добового пробігу з інших баз даних час ведення обліку не буде перевищувати 5 хв.

Пакет програм дозволяє одержувати різні довідки з приводу ремонтів і пробігів рухомого складу.

Програми згруповані за чотирма технологічними ознаками:

- введення довідкових баз даних;
- щоденне введення даних;
- одержання довідок і звітів;
- налаштування пакета й обслуговування баз даних (сервіс).

Введення довідкових баз даних

Під поняттям «довідкові бази даних» мається на увазі інформація, відносно якої здійснюються угруповання і аналіз основної інформації про роботу рухомого складу. Довідкові бази даних включають різні кодифікатори інформації, серед яких:

- кодифікатор типів рухомого складу - як правило, містить перелік всіх типів рухомого складу, що експлуатується в Україні, і завданням користувача є

поставити спеціальний знак (символ), який свідчить про те, що обраний ним тип рухомого складу присутній в депо;

- кодифікатор ремонтів - як правило, містить назву і відповідний цій назві код ремонту. Завдання користувача полягає в тому, щоб внести зміни в назву ремонту, якщо ця назва законодавчо змінена (наприклад, змінена система ТО і Р, що діє в Україні). Кодифікатор містить інформацію про типові міжремонтні пробіги, встановлені для кожного виду ремонту. Як і назву ремонту, є можливість змінити нормативне значення пробігу;

- причини непланових ремонтів. Кодифікатор використовується для проведення аналізу причин виконання непланових ремонтів. Виходячи з досвіду експлуатації рухомого складу, в кодифікатор вводять назви причин виконання непланових (заявочних) ремонтів і відповідні їм коди.

За допомогою кодифікаторів інформація про події кодується і заноситься в пам'ять ЕОМ у вигляді коду, що значно скорочує час на введення інформації і дозволяє робити різні сортування інформації баз даних при виконанні аналізу роботи рухомого складу.

До довідкових баз даних також відносяться :

- перелік інвентарних номерів РС, що експлуатуються в депо. Ця довідкова база даних містить також і код типу рухомого складу щодо кожного номера трамвайного вагона чи тролейбуса;

- номери маршрутів. Дана довідкова база даних дуже важлива, тому що дозволяє враховувати умови експлуатації РС. По кожному маршруту в базі даних зберігається інформація про середню експлуатаційну швидкість на маршруті і пробіг РС за один тур на маршруті. Наявність інформації про пробіг за тур чи середньої швидкості на маршруті дозволяє визначати напрацювання РС на маршруті за добу.

Настроювання пакета й обслуговування баз даних (сервіс)

На жаль, введення в експлуатацію пакета програм “АРМ ТВД” здійснюється завжди в умовах, коли тролейбусне чи трамвайне депо вже функціонує й відповідно до цього РС уже має пробіг від початку експлуатації, а також пройшов певні види ремонтів. Дані умови вимагають, щоб при запуску пакета в експлуатацію була внесена інформація про його попередню роботу. Таку роль виконують кілька програм комплексу, серед яких:

- програма виконаних планових ремонтів призначена для введення даних про дати і пробіг РС від усіх видів планових ремонтів при початковому запуску пакета програм в експлуатацію. Крім того, програма може бути

використана для виправлення помилок чи швидкого перегляду інформації про пробіги від ремонтів. Введення інформації про пробіги повинно здійснюватися тільки після введення даних про номери РС в «Довідкову інформацію». При першому запуску пакета після введення номерів РС в дані «Довідкової інформації» про номери РС будуть автоматично перезаписані в базу даних пробіги від ремонтів при першому ж виклику програми «Пробіги від ремонтів у сервісі». У процесі роботи пакета перезапис номерів РС в «Довідкову інформацію» здійснюється після першого введення інформації про пробіги в «Щоденному введенні даних».

Як правило, в депо ведуть облік пробігів від ремонтів за однією з двох методик:

А. Реєструють пробіг від початку експлуатації, при якій був виконаний плановий ремонт. Пробіг від будь-якого планового ремонту розраховують як різницю між поточним значенням пробігу від початку експлуатації і пробігом від початку експлуатації, при якій був виконаний ремонт.

Б. Щодобово підсумовують значення добового пробігу до пробігу від усіх видів планових ремонтів. При постановці в плановий ремонт РС його пробіг від цього ремонту записують рівним нулю, крім того рівним нулю записують і пробіги від ремонтів більш низької категорії.

Залежно від того, за якою методикою в парку ведеться облік пробігу від планових ремонтів, переміщенням курсору вибирають код варіанта обліку А чи Б. Після вибору варіанта введення пробігу на екран буде виведена таблиця, в якій необхідно записати по кожному виду ремонту його дату і пробіг. У таблицю заносять дату постановки РС на ремонт. Для варіанта А в кожному графу записують пробіг від початку експлуатації, при якій був виконаний розглянутий ремонт, а в разі його відсутності - пробіг від початку експлуатації для ремонту більш високої категорії.

Для варіанта Б вводиться пробіг від останнього ремонту розглянутого виду, а в разі його відсутності - пробіг від ремонту більш високої категорії. Для капітального ремонту, а в деяких випадках для середнього і ТО-2 (при їхній відсутності), пробіг від початку експлуатації повинен розглядатися як пробіг від ремонту більш високої категорії.

Після введення даних про пробіги треба набрати і дату, на яку був розрахований пробіг від початку експлуатації, введений у таблицю.

Щоденне введення даних

Щоденне введення даних здійснюють з метою поповнення баз даних про результати роботи рухомого складу. До програм введення даних відносяться :

- введення добового пробігу;

Програма «Введення добового пробігу» створює тимчасову базу даних, в яку записують значення добового пробігу, що вводяться, по кожній рухомій одиниці (РО). Після закінчення введення інформації пробіг по кожній РО перезаписують в основну базу добових пробігів і здійснюють його підсумовування до пробігів РО від усіх видів ремонтів. Як правило, програма дозволяє відпрацьовувати дві ситуації:

- необхідно скоригувати пробіг, введений раніше;
- необхідно ввести пробіг за чергову дату.

При коригуванні раніше введеного пробігу вводять дату і номер РО, по якому треба виправити раніше введений пробіг. Введене значення пробігу автоматично коригується у всіх базах даних, де використовується його значення.

Введення пробігу за чергову дату здійснюється по одному з варіантів введення пробігів:

- введення добових пробігів у порядку зростання номерів РО;
- введення добових пробігів у будь-якому порядку номерів РО;
- введення пробігів з розрахунком за числом турів;
- введення пробігів з розрахунком за середньою швидкістю на маршруті.

1 Введення пробігів у порядку зростання номерів РО

Доцільно використовувати, коли є документ, в якому пробіг за добу кожної РО записаний у порядку зростання їхніх бортових номерів. При виборі даного варіанта необхідно вказати номер РО, з якого буде вводиться пробіг за першу чи (і) другу зміну.

2 Введення пробігу в будь-якому порядку номерів РО

Доцільно використовувати, коли необхідно зробити введення добового пробігу, розрахованого вручну за шляховими листами або диспетчерськими звітами. У цьому разі вводиться номер РО та її пробіг за добу чи позмінно в сумі.

3 Введення пробігів з розрахунком за числом турів

Доцільно використовувати, коли необхідно зробити введення добового пробігу з розрахунком за числом турів і відомим нульовим пробігом. Як правило, для введення пробігів використовують інформацію зі шляхових листів або диспетчерських звітів. Розрахунок пробігу можливий тільки при наявності в базі даних «Маршрути» значень пробігів за один тур по маршруту.

Введення пробігу з розрахунком за середньою швидкістю

При виборі даного варіанта роботи необхідно вибрати варіант введення часу виїзду-заїзду в депо. Час може вводитися в годинах і хвилинах або в долях години.

Програма дозволяє працювати при наявності двох можливих варіантів наявності інформації про тривалість роботи РО на лінії - тривалість роботи РО на лінії в шляховому листі чи диспетчерському звіті вже розрахована чи її потрібно розрахувати.

Програма «Введення планових ремонтів» дозволяє записати інформацію про виконані планові ремонти. У базі даних, що створює програма, запам'ятовується номер РО, код ремонту, дата постановки і дата виходу РО з ремонту. Інша інформація, представлена в таблиці, автоматично переписується з інших баз даних. При завантаженні програми запитується дата, за яку будуть вводити номери РО, постановлені на ремонт. Спочатку на екран виводиться дата, за яку було зроблено підсумовування добового пробігу. Є можливість залишити цю дату без зміни, чи вказати більш пізню дату, коли інформація вводиться із запізненням. При введенні послідовно записують всі номери і коди ремонтів по РО, що були постановлені на ремонт за вказану дату.

Програма після закінчення введення автоматично коригує бази «Пробіги від ремонтів», записуючи в цю базу дату постановки РО на ремонт і обнуляє накопичений пробіг від цього ремонту, в тому числі накопичені пробіги від ремонтів більш низької категорії.

Програма «Введення непланових ремонтів» дозволяє записати інформацію про непланові ремонти. У базі даних, що створює програма, запам'ятовується номер РО, дата постановки і дата виходу РО з ремонту. При завантаженні програми запитується дата, за якою буде вводитися номери РО, поставлені на неплановий ремонт і коди причин виконання непланових ремонтів.

Одержання довідок і звітів

Програма «Рухомий склад» дозволяє одержати довідки про склад РО в парку, інформацію про кількість РО з розбивкою її за типами, а також інформацію про розподіл віку і пробігу. Усі види довідок РО розраховані в меню програми.

За допомогою програми «Пробіг від ремонтів» можна:

- скласти графік ремонтів РО на черговий місяць;
- одержати різноманітні довідки про пробіги РО від усіх видів ремонтів;
- одержати очікувані дати чергових ремонтів і залишок пробігу до

очікуваного ремонту;

- одержати інформацію про пробіг РО від початку експлуатації, дату початку експлуатації;
- залишок пробігу до списання і очікувану дату списання.

За допомогою програми «Графік ремонтів» можна скласти графік ремонтів РО на черговий місяць. При завантаженні програми виводиться запит про місяць, на який буде складатися графік ремонтів. Програма підключить раніше складений графік ремонтів і зробить запит про дозвіл на його видалення.

Рекомендується не видаляти старий графік ремонтів, щоб мати список машин, які планувалися на ремонт в минулому місяці. Після видалення старого графіка відбувається обробка даних про пробіг РО від усіх видів ремонту і розраховується середнє значення добового пробігу по кожній РО.

Після закінчення розрахунку середніх пробігів на екран виводиться меню з найменуванням ремонтів, для яких необхідно відібрати РС.

Після вибору виду ремонту на екран виводиться таблиця, в якій є наступні графи:

- номер рухомої одиниці;
- дата, коли РО повинна бути поставлена на ремонт (розрахована з урахуванням середнього значення пробігу РО, нормативного значення пробігу постановки на ремонт і залишком пробігу до нормативного значення);
- залишок пробігу до нормативного значення, який є в РО на кінець заданого місяця;
- три графи з кількістю виконаних ремонтів (кількість ТО-2 від останнього середнього чи іншого ремонту більш високої категорії і т.д.);
- тип РО;
- вид ремонту, на який планується поставити РО (як правило, порожня графа, яка буде заповнена в процесі відбору машин постановки на ремонт);
- запланована дата постановки на ремонт (як правило, порожня графа, що буде заповнена в процесі відбору машин постановки на ремонт);
- розрахунковий пробіг РО, при якому буде поставлена машина на ремонт, заповнюється автоматично після визначення дати постановки машини на ремонт).

Програма дозволяє відсортувати інформацію таким чином, що в першому рядку буде стояти машина, яка має найбільш ранню заплановану дату постановки на ремонт чи найбільший перепробіг від нормативного значення. Значення пробігу зі знаком (+) означає, що на кінець місяця тролейбус буде мати перепробіг відносно нормативного значення, а зі знаком (-), що тролейбус на кінець місяця не досягне нормативного значення на зазначену величину.

Пріоритет у виборі постановки на ремонт мають ті РО, в яких є найбільший перепробіг (чи найменший недопробіг) від нормативного значення пробігу до ремонту. Користувачу залишається тільки натиснути клавішу підтвердження, що саме цю машину треба поставити на плановий ремонт. Рекомендується починати складання графіка ремонту з капітального ремонту.

Програма «Пробіг рухомого складу» дає можливість одержати наступну інформацію:

- звіт про річний пробіг;
- звіт про місячний пробіг;
- довідка про пробіг РО.

За допомогою програми «Довідка про виконані ремонти» можна одержати інформацію про проведені планові ремонти по будь-якій РО. Після завантаження програма виводить таблицю з наступними даними:

- номер РО;
- тип РО;
- вид ремонту;
- дата постановки на ремонт;
- дата виходу РО з ремонту;
- тривалість простою на ремонті;
- пробіг РО, при якому вона була поставлена на ремонт.

Програма дозволяє відібрати в таблиці обсяг інформації, обмежений користувачем, за наступними ознаками:

- номером (-ами) РО;
- датою (-ами) постановки на ремонт;
- датою (-ами) виходу з ремонту;
- кодом (-ами) ремонту;
- тривалістю ремонту.

За допомогою програми «Довідка про перебування в ремонтах» можна одержати інформацію про планові ремонти, що виконуються. Після завантаження програма виводить таблицю з наступними даними:

- номер РО;
- тип РО;
- вид ремонту;
- дата постановки на ремонт;
- тривалість простою на ремонті;
- пробіг РО, при якому вона була поставлена в ремонт.

Програма дозволяє відібрати з таблиці тільки потрібну інформацію за наступними позиціями:

- номером (-ами) РО;
- датою (-ами) постановки в ремонт;
- кодом (-ами) ремонту;
- тривалістю ремонту.

За допомогою програми «Довідка про перебування в непланових ремонтах» можна одержати інформацію про непланові ремонти, що виконуються. Після завантаження програма виводить таблицю з наступними даними:

- номер РО;
- дата постановки в ремонт;
- дата виходу РО з ремонту;
- тривалість простою в ремонті;
- причина постановки в неплановий ремонт.

Програма дозволяє відібрати з таблиці тільки потрібну інформацію за наступними ознаками :

- дата(-ами) постановки в ремонт;
- тривалість ремонту;
- причина постановки на неплановий ремонт;

Програма «Прогноз ремонтів на рік» дозволяє скласти прогноз постановки РО на планові ремонти на чергові 18 місяців. На початку роботи програми є можливість задати значення середнього пробігу РО за добу по парку, що буде використовуватися програмою, коли за будь-якою РО неможливо розрахувати значення середнього пробігу.

Програма підготує всі вихідні дані для прогнозу і виведе їх на екран у вигляді таблиці. Графи таблиці містять таку інформацію:

Ном. РО - номер рухомої одиниці;

Тип РО - код типу рухомої одиниці;

Средн. пробіг - середній пробіг рухомої одиниці за добу;

Нормат. пробіг - нормативний пробіг між ТО-2;

Дата ремонту - дата виконання останнього планового ремонту, а при її відсутності, дата початку експлуатації;

Пробіг від ремонту - пробіг від останнього планового ремонту, а при його відсутності - від початку експлуатації;

Номери - номери останніх планових ремонтів (Т - техобслуговування, СР - середній ремонт, КР - капітальний ремонт);

Кільк. - нормативна кількість планових ремонтів між ремонтами більш високої категорії.

Програма «Підсумок непланових ремонтів» дозволяє одержати інформацію про кількість виконаних непланових ремонтів по кожній з можливих причин відмов за певний період часу у вигляді таблиці.

Існує можливість побудувати гістограму розподілу причин виконання непланових ремонтів. Інформація, наведена в таблиці, може бути виведена на друк повністю чи за окремими рядками.

За допомогою програми «Кількість непланових ремонтів за номерами РО» можна одержати інформацію про проведені непланові ремонти за будь-якою РО. Після завантаження програма виводить таблицю з наступними даними:

- номер РО;
- дата постановки в ремонт;
- дата виходу РО з ремонту;
- тривалість простою в ремонті;
- причина постановки в неплановий ремонт.

Програма дозволяє відібрати з таблиці тільки потрібну інформацію за такими позиціями:

- номером (-ами) РО;
- датою(-ами) постановки на ремонт;
- датою(-ами) виходу з ремонту;
- тривалістю ремонту;
- причиною постановки на неплановий ремонт.

Програма «Коефіцієнт використання» дозволяє одержати дані про коефіцієнт використання за кожний день місяця і за кожний місяць року. Дані можуть бути подані як в цілому по всіх РО парку, так і за типами РО.

Програма «Простої в депо» робить розрахунок кількості діб, протягом яких рухома одиниця не брала участь в русі, кількості діб, протягом яких рухома одиниця знаходилася на планових ремонтах, вік рухомої одиниці і її індивідуальний коефіцієнт використання.

Коефіцієнт використання рухомої одиниці дорівнює відношенню кількості днів простою в депо (за винятком днів простою у планових ремонтах) до кількості днів у місяці. Значення коефіцієнта використання, більші одиниці, означають, що в базах даних про виконані планові ремонти повторно записані РО.

У виведеній на екран базі даних не представлені номери РО не мають простою в депо.

Програма “Облік відмов, несправностей, зняття з лінії”

Цей пакет програм призначений для ведення обліку несправностей, відмов і вибуттів рухомого складу. За допомогою даного пакета можна робити аналіз надійності рухомого складу, його вузлів і деталей. При повному освоєнні пакета програм витрати Вашого часу на ведення даної інформації будуть складати не більше 30 хв. в день для парку на 200 одиниць рухомого складу.

Пакет програм дозволяє одержувати різні довідки по відмовах устаткування, вузлів і деталей рухомого складу.

Програми згруповані за чотирма технологічними ознаками:

- ведення довідкових баз даних;
- щоденне введення даних;
- одержання довідок і звітів.

Довідкові бази даних

Як і в попередньому пакеті програм, робота і ефективність використання програми залежить від наявності й оригінальності кодування довідкової інформації, до якої відносяться:

- кодифікатор устаткування (все устаткування розподіляється на кілька видів. Кожному виду устаткування РО привласнюється окремий код. Програма створює типовий кодифікатор устаткування. Є можливість доповнити чи змінити запропонований кодифікатор. Наявність кодифікатора дозволяє одержувати довідки і звіти про надійність кожного виду устаткування);

- кодифікатор вузлів (після визначення видів устаткування рухомого складу необхідно зробити його розбивку на агрегати й вузли для того, щоб мати можливість вести облік відмов не тільки за видами устаткування, але й за агрегатами і вузлами. Кожному з агрегатів, які цікавлять користувача, привласнюється окремий код. Як правило, агрегати записують як: двигуни, візки, контактні панелі, дахове устаткування, устаткування кабіни водія і т.д. Кодифікатор використовується для підготовки інформації про надійність агрегатів);

- кодифікатор деталей (щоб створити цей кодифікатор, необхідно з усіх деталей відібрати ті деталі, за якими треба вести облік відмов. Деталь може бути включена в кодифікатор, якщо вона може бути окремо замінена на РО. Як деталь можна записати агрегат (вузол), якщо він може бути окремо замінений

на РО. Додатково можливе введення коду місця деталі у разі наявності однакових деталей, а також коду виду відновлення деталі);

- коди відновлень (програма створює стандартний кодифікатор ремонтних робіт, в який можна ввести зміни. Кодифікатор використовується для контролю інформації, що вводиться, розрахунку трудовитрат і вартості робіт на усунення відмов, а також для підготовки довідок і звітів по кількості замін деталей. Крім того, є можливість вказати по кожному коду відновлення для кожної деталі трудовитрати і вартість відновлення);

- місця розташування вузлів (програма створює стандартний кодифікатор місць деталей, в який можна внести зміни. Кодифікатор використовується для контролю інформації, що вводиться, про відмови деталей (вузлів). Створення даного кодифікатора необхідно при наявності на РО вузлів (деталей) однакового найменування. Користувач може відмовитися від ведення обліку відмов деталей з фіксацією місця розташування деталі на РО. У цьому випадку в кодифікаторі записується тільки код 0 з найменуванням «Не визначено»);

- місця усунення (програма створює стандартний кодифікатор місць усунення дефектів, який можна змінити. Кодифікатор використовується для контролю інформації, що вводиться, про відмови вузлів і підготовки довідок та звітів про кількість відновлень РО, виконаних при ТО і Р);

- кодифікатор видів вибуттів (програма створює типовий кодифікатор вибуттів, у який можна внести зміни);

- кодифікатор причин відмов (створюється користувачем на підставі видів відмов, які трапляються на рухомому складі, що знаходиться в експлуатації в депо. Типовими видами відмов є: пробій ізоляції, механічне зношення, старіння, ослаблення кріплення, корозія і т.д. Кодифікатор використовується для підготовки довідок і звітів про причини відмов вузлів. Допускається як причину відмови записувати назву агрегату (вузла, деталі), з вини яких відбулася відмова);

- кодифікатор винуватців вибуттів (програма створює типовий кодифікатор винуватців вибуттів, який можна змінити. Кодифікатор використовується при підготовці інформації про кількість вибуттів по кожному винуватцю);

- список ремонтного персоналу (забезпечує можливість ведення обліку вибуттів рухомого складу з вини ремонтного персоналу чи розрахунку коефіцієнта трудової участі кожного фахівця бригади при виконанні робіт з усунення відмов рухомого складу. Програма дозволяє записати табельні

номери слюсарів, які здійснюють ТО і Р рухомого складу. Таблиця має наступні графи: "Таб" - табельний номер - номер слюсаря; "Розряд"- розряд слюсаря; "Бригада" - номер бригади, до якої відноситься слюсар; "Дата ТБ"-дата чергового екзамену з техніки безпеки; "Прим" - оцінка про звільнення слюсаря. "Звільнений"- дата звільнення слюсаря. Табельний номер звільненого слюсаря може зберігатися в будь-який час, однак для виключення випадкового запису його номера при введенні інформації про виконані ремонтні роботи необхідно встановити оцінку про звільнення. Список слюсарів заповнюється при необхідності вести облік виконаних робіт кожним слюсарем і для розрахунку коефіцієнта трудової участі);

- список водіїв (наявність табельних номерів водіїв дозволяє вести облік вибуттів рухомого складу не тільки через відмови деталей, але і з вини водіїв. Програма дозволяє записати: табельний номер водія; номер бригади, до якої відноситься водій; номер закріпленої за водієм РО; відмітку про звільнення водія; дату звільнення водія).

Щоденне введення даних

1. Меню опції «Щоденне введення даних» містить програми, які використовуються щодня для введення інформації в основні бази даних. Щоденне введення інформації необхідно робити в порядку проходження програм у меню опції.

2. Інші опції головного меню пакета використовують в міру необхідності. Кожна програма, що викликана з меню опцій, має інструкцію по роботі. Інструкції по роботі з програмами викликаються після натискання клавіші F1.

Одержання довідок і звітів

Програма «Відмови рухомого складу» дозволяє одержати довідки про відмови деталей рухомого складу за визначеними користувачем умовами. У програмі передбачена можливість добору інформації за однією чи декількома умовами.

Найчастіше програма використовується для підготовки наступної інформації: - які вибуття були в РО;

- хто останній виконував ремонт у РО, яка вибула з руху;
- в яких РО були зроблені заміни визначених вузлів;
- які РО проходили непланові ремонти.

Програма «Надійність рухомого складу» дозволяє одержати різноманітні довідки про надійність РО або окремої деталі (вузла) за заданий користувачем період часу у вигляді суми подій, що вибрана користувачем з меню.

Найчастіше програму використовують для визначення:

- номери РО з мінімальним наробітком на відмову в лінії чи на відновлення;
- групи РО, що мають незадовільний технічний стан;
- номер РО, в якій є найбільше число замін визначеного вузла чи деталі.

Програма «Надійність вузлів, деталей» дозволяє одержати різні довідки про надійність деталей РО за заданий користувачем період часу. Після введення дат періоду часу програма дає запит про тип рухомого складу, по якому буде здійснюватися підбір інформації. Є можливість одержати додатково розподіл суми відмов за вибуттями, видами робіт і т.д.

Найчастіше програма використовується для визначення найменш надійного вузла (деталі) РО.

Програма «Вибуття рухомого складу» дозволяє одержати різноманітні довідки про розподіл вибуттів як по винуватцях вибуттів, так і по РО, устаткуванню, агрегатах і т.д., за визначені користувачем періоди часу.

Програма «Аналіз замін вузлів, агрегатів» дозволяє підготувати різну інформацію в інтервалі дат про заміни вузлів, за якими ведеться індивідуальний облік замін. Після задання умов добору інформації на екран виводиться таблиця з відібраною інформацією.

Найчастіше програму використовують для одержання наступної інформації:

- пробіг вузла і номери РО, на яких він встановлювався;
- розподіл причин замін вузла;
- які роботи були виконані на вузлі на момент його останнього ремонту.

Програма «Коефіцієнт трудової участі» дозволяє одержати інформацію про трудову участь кожного фахівця бригади при проведенні ТО рухомого складу. Для розрахунку необхідно задати дати початку (ч/м/р) і кінця місяця, по який необхідно зробити розрахунок.

Програма «Порівняння двох періодів роботи» дозволяє одержати інформацію про роботу устаткування, агрегатів, деталей і самих РО за два періоди, з яких один приймається за базовий. Програма робить порівняння результатів роботи за поточний період з результатами роботи за базовий період.

Інформація про роботу за два періоди і їхнє порівняння виводяться на екран у вигляді таблиці, в якій:

Найменування - найменування інформації.

Усього - кількість подій (вибуттів чи відновлень).

% - відносна кількість подій відносно загальної суми подій.

>1год - кількість вибуттів більше 1 години.

Час - сумарні втрати часу в русі через вибуття.

Нароб. - наробіток на відновлення чи вибуття (відмова РО).

Програма «Розподіл вибуттів за місяцями» розраховує кількість подій (вибуттів, відновлень і т.д.) за місяцями заданого року. Варіант розрахунку вибирають з меню, що виводиться на екран, після задання року, по якому необхідно зробити розрахунок.

Програма «Аналіз відновлень» дозволяє одержати інформацію про кількість відновлень рухомого складу, виконаних на будь-якому виді ТО і Р. При виклику програми на екран виводиться повідомлення про інтервал часу, за який є інформація в базі даних. Для одержання інформації необхідно:

1. Вказати інтервал у рамках зазначеного інтервалу часу, за який треба підготувати інформацію.

2. Вибрати вид ТО чи Р.

Після декількох секунд (можливо хвилин) на екран буде виведена таблиця з переліком агрегатів, по яких виконувалися відновлення на обраному виді ТО чи Р. Список агрегатів формується на основі кодифікатора агрегатів, за яким виключаються агрегати, по яких відновлення не проводилися.

Тема 26. Перспективи запровадження фірмового обслуговування

Попередні відомості

Необхідність забезпечення високого рівня працездатності технічних засобів міського електротранспорту вимагає, щоб якомога більша частина відмов і несправностей була попереджена заздалегідь, тобто працездатність повинна бути відновлена ще до початку прояву несправності на лінії.

Попередження відмов потребує регламентації технічного обслуговування і ремонту – встановлення найвигіднішої періодичності, обґрунтування переліку робіт та їх тривалостей тощо – всього того комплексу взаємопов'язаних положень, що врешті утворюють систему технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р).

При цьому звичайно мається на увазі, що це є майже виключно справою сфери експлуатації, а участь підприємств – виробників у подальшій долі своєї продукції, крім постачання запасних частин, полягає у виданні інструкцій з експлуатації, де переважно містяться технічні описи, технічні умови на деякі покупні деталі та вузли, вимоги до технологічного обладнання, рекомендації з перевірок працездатності, граничні параметри тощо (рис. 8.26.1).

Але таке уявлення є правильним тільки для технічних засобів, що випускаються поодиночі або невеликими партіями. Для серійної продукції дуже

швидко постало питання про економічну обґрунтованість відшкодування втрат від викликаних головно дефектами виробництва відмов на початку експлуатації придбаної техніки, коли рівень ремонтної бази експлуатаційного підприємства ще не міг суттєво впливати на надійність. Очевидно, що негативні наслідки від відмов на початку експлуатації повинно нести підприємство-виробник, тому набув розповсюдження порядок надання виробником гарантій безвідмовної роботи на початку експлуатації.

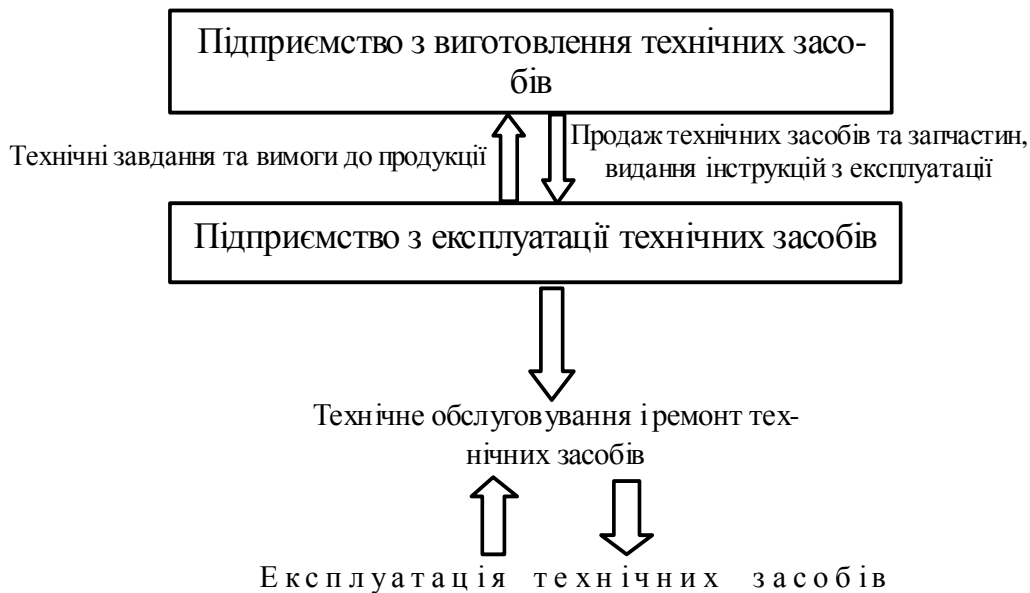


Рис. 8.26.1 - Початкова форма взаємодії підприємства – виготовника і підприємства – споживача продукції експлуатаційного призначення

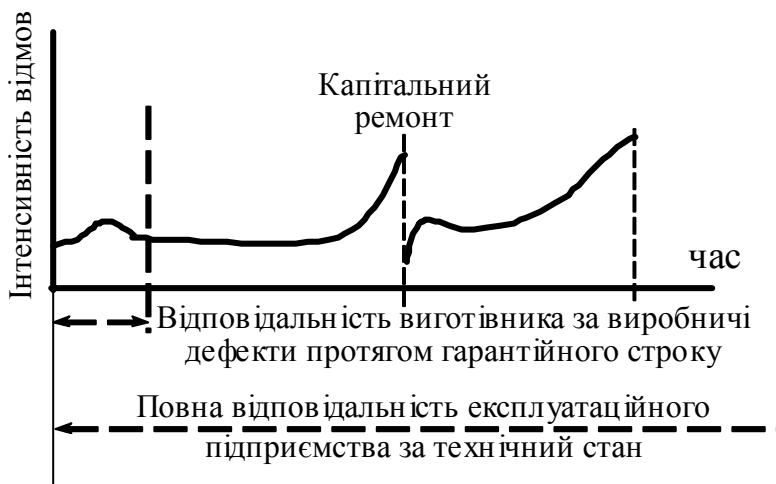


Рис. 8.26.2 - Розмежування відповідальності за надійність технічних засобів між виготовником та експлуатаційним підприємством за відносинами, що склалися

У подальший період, коли на усередненій кривій “тривалість експлуатації – інтенсивність відмов” реалізується ділянка приблизної сталості, вважалося, що відмови викликаються виключно експлуатаційними перевантаженнями, тобто з вини споживача, і претензії до підприємства-виробника вже нібито не мають підстав (рис. 8.26.2).

Однак, в міру вивчення фізики відмов, виникла і знайшла підтвердження точка зору, що й у другому періоді, крім руйнівної дії експлуатаційних перевантажень, також проявляються недоліки виготовлення, хоч і менш явні – несоосності отворів, непаралельності валів, недотримання чистоти обробки, зменшені радіуси галтелей тощо як незалежні від зовнішніх навантажень фактори передчасного руйнування. Недосконалість виготовлення впливає на надійність і на третьому етапі, коли проявляються відмови, обумовлені стомленням деталей. Отже швидкість витрачання ресурсу залежить, по перше, від експлуатаційного навантаження, по друге – від якості збирання, і по третє – від відхилень фактичних властивостей матеріалів від розрахункових. З цього об’єктивно випливає положення, за яким підприємство-виробник та експлуатаційне підприємство на якихось узгоджених, бажано науково обґрунтованих підставах, повинні ділити між собою відповідальність за надійність технічних засобів протягом усього життєвого циклу цих засобів.

Еволюція розвитку фірмового обслуговування

Слід зазначити, що цей сьогодні зрозумілий висновок став керівним поступово, через численні спроби пошуку найбільш ефективної моделі взаємодії виробника і споживача (експлуатаційника). Початком переосмислення ролі виробника у подальшій долі своєї продукції вважається так звана “війна гарантій”, коли загострилося протиріччя між викликаним конкуренцією намаганням збільшити гарантійний строк зі збитками від зростання реклаमाцій. Наприклад, до початку цієї “війни” гарантії для масових автомобілів не перевищували трьох місяців при пробігу не більше 10 тисяч кілометрів. Але в 1964 р. фірма Крайслер прийняла формулу “5/50”, тобто гарантувала безвідмовну роботу своїх автомобілів протягом 5 років при пробігу не більше 50 тисяч миль (приблизно 80 тисяч кілометрів). Цим заходом фірма Крайслер отримала суттєву перевагу перед конкурентами, змушуючи їх впроваджувати більш жорстку технологічну дисципліну, підвищувати вимогливість до субпідрядників, і врешті-решт почати цікавитися усіма аспектами надійності (зараз у це важко повірити, але слово “надійність” у науковому обігу почало використовуватися лише з початку 70 років минулого століття).

“Війна гарантій” призвела до розуміння необхідності більш глибокого вивчення структури причинно-наслідкових зв’язків настання несправностей, результатом чого стало принципове положення про необхідність диференціації гарантійних строків по групах агрегатів, вузлів та деталей. Зокрема, та ж фірма “Крайслер” запровадила практику, за якою в перші 12 місяців від початку експлуатації, або ж на перших 28,8 тис. км пробігу, всі дефектні деталі замінювалися безплатно, але у подальшому, до гарантійного пробігу 80 тис. км на весь автомобіль, з гарантії вилучалися гальма, зчеплення, трансмісія тощо.

Починаючи з 70-х років 20 ст., було опрацьовано сотні різних варіантів диференційованих гарантій, аж поки не визрів висновок про необхідність звуження розбігу показників надійності по окремих групах агрегатів, вузлів та деталей та диференціації гарантій по цих групах виробів. При цьому приділялась велика увага досягненню рівнонадійності всіх елементів, що складають групу (рис. 8.26.3).

Дійсно, якщо, наприклад, надавати гарантію L_a на агрегати a , b , і гарантію L_b на агрегати b , c , то це призводить до недовикористання ресурсів елементів b , c , що вочевидь зменшує конкурентноздатність виробника з-за невиправданих витрат на досягнення підвищеної надійності агрегатів b , c , а гарантії L_b , L_c загрожують втратами від реклаमाцій на елементи a , b . Більше того, звуження розбігу показників надійності елементів-складових груп є корисним не тільки для виробника, а й для експлуатаційного підприємства, бо відкриває можливість перейти від ремонту до планової заміни після досягнення гарантійного строку (що й робиться в авіатехніці та на інших технічних засобах підвищеної відповідальності).

Але як би не вдосконалювалися умови продажу виробником своєї продукції, це не вирішувало проблему поєднання технічного обслуговування, що за своєю природою не використовує технологій машинобудування (для рухомого складу міського електротранспорту - це підкачка шин, заміна швидкозношуваних елементів, санітарне очищення, підливання та заміна мастил, регулювання тощо), з роботами суто машинобудівного напрямку - формоутворення, керована зміна структури матеріалів, збирання і т.п. - при ремонті. Відомо, що поєднання в одному суб’єкті двох взаємовиключних напрямків діяльності – максимізації доходів від ефективної експлуатації технічних засобів, та мінімізації втрат з-за відмов шляхом удосконалення ремонту - є економічно протиприродним, оскільки збільшення уваги до ремонту вимагає більших коштів, що заробляє сфера експлуатації, та обумовлює зменшення часу перебування в експлуатації. Поєднати ці дві

сторони якоюсь мірою вдається тільки при використанні примітивних дешевих технологій ремонту таких же примітивних дешевих технічних засобів. Таке положення мало місце до початку 60-х років 20 ст., коли міський електричний транспорт був прибутковою галуззю міського господарства, що якраз пояснювалося дешевизною ремонту – досить нагадати, що на один трамвайний вагон серії “Х” з осьовим компресором йшло тільки чотири шарикопідшипники на два тягових двигуна, що дах робився з дощок і вкривався просмоленним руберойдом тощо.

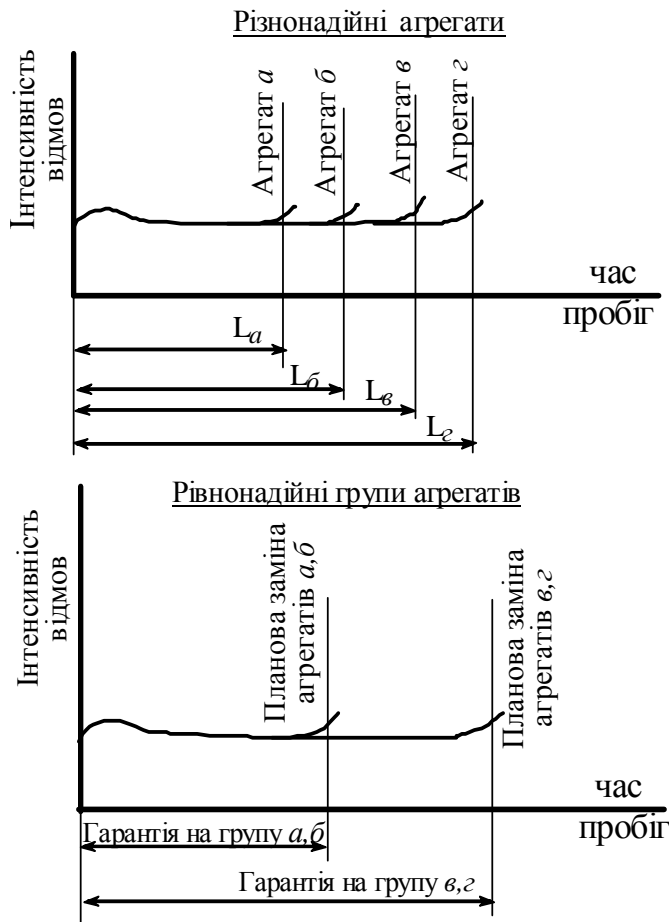


Рис. 8.26.3 – Диференціація гарантійних строків при звуженні розбігу показників надійності по групах агрегатів, вузлів і деталей

Але ситуація почала стрімко змінюватися вже під час першого технічного переозброєння, коли на вулицях з'явився більш потужний рухомий склад підвищеної місткості з автоматизованим керуванням, і витрати експлуатаційних підприємств на сферу ремонту стали співрозмірними з доходами від перевезень. По суті, поводження з технічними засобами поза їх експлуатацією поступово перетворилося на самодостатній сектор, який, хоч і став досить потужним, однак об'єктивно залишався певною мірою невласним для ринку транспортних послуг. Тому для підприємств - виробників все більш принадною почала ставати перспектива перебирання на себе усього комплексу робіт з

технічного обслуговування і ремонту технічних засобів, залишаючи для сфери експлуатації тільки їх утримання і власне експлуатацію.

Нова методологія взаємодії виробника зі споживачем передбачає можливість експлуатаційним підприємствам зосередитися виключно на досягненні найвищої прибутковості від продажу транспортних послуг, а для виробників це означає появу досі незайманого ринку надання послуг з технічного обслуговування та ремонту своєї продукції. Технічне обслуговування та ремонт раніше проданих технічних засобів, яке організовано фірмою - виробником через дистриб'юторів на місцях, називається фірмовим обслуговуванням. Слід зазначити, що фірмове обслуговування тепер розглядається як магістральний напрямок в техніці 21 ст.

Економічні аспекти фірмового обслуговування

Очевидно, що для міського електротранспорту, як і для інших галузей, повинні бути виконані умови, за яких перехід до фірмового обслуговування буде вигідним як для підприємства-виробника, так і для експлуатаційного підприємства. Оскільки прикладів фірмового обслуговування для підприємств міського електротранспорту України ще нема, можна лише вказати на досвід впровадження фірмового обслуговування на автомобільному транспорті, який, з певними застереженнями, може бути розповсюджений на міський електротранспорт. Головний принцип тут полягає у порівнянні прибутку (чи збитку) для обох підприємств при виконанні ТО і Р власними силами і при фірмовому обслуговуванні (рис. 8.26.4).

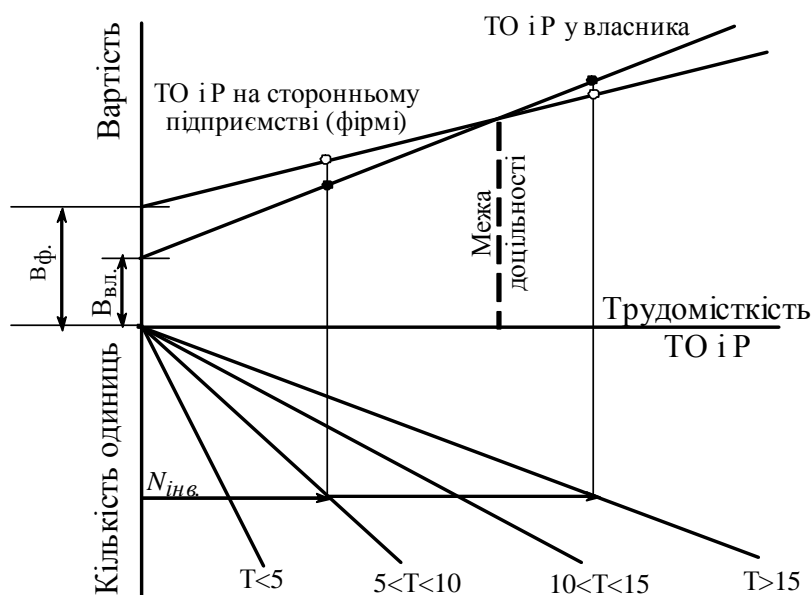


Рис. 8.26.4 – Визначення доцільності впровадження фірмового обслуговування

Відомо, що вартість технічного обслуговування та ремонту включає в себе так звані постійні витрати, які не залежать від обсягу робіт - це витрати на утримання виробничо-технічної бази, амортизація будівель, споруд та обладнання, заробітна плата невиробничого персоналу тощо, і змінні, що пропорційні обсягу діяльності. Таким чином, наприклад, для підприємства, що практикує ТО і Р власними силами, витрати на цей вид діяльності складатимуть

$$B_{вл.ТО,Р} = B_{вл.} + N_{інв.} \cdot k_T \cdot k_{вл.},$$

де $N_{інв.}$ – середня інвентарна кількість рухомих одиниць за вказаний період; $B_{вл.}$ – постійні витрати; $k_{вл.}$ – одинична змінна вартість, тобто тангенс кута нахилу відрізка прямої, що визначає питомі змінні витрати на одиницю приведених втручань (вигляд формули для фірмового обслуговування аналогічний).

Обсяг трудовитрат на ремонтно-профілактичні втручання (трудомісткість) вважається залежною від чисельності рухомих одиниць і розраховується з таких міркувань. Для інвентарної кількості рухомих одиниць $N_{інв.}$ за вказаний період повинно бути здійснено $n_{ТО1}$ перших і $n_{ТО2}$ технічних обслуговувань, $n_{РР}$ ревізійних, n_C та $n_{КР}$ середніх і капітальних ремонтів, тобто на одну рухому одиницю в середньому припадає

$$n_{ТО,Р} = \frac{1}{N_{інв.}} (n_{ТО1} + n_{ТО2} + n_{РР} + n_{СР} + n_{КР}).$$

Середня трудомісткість одного ремонтно-профілактичного втручання q_C , якщо позначити через q з відповідними індексами трудомісткості технічних обслуговувань та ремонтів, знайдеться, як

$$q_C = \frac{n_{ТО1} \cdot q_{ТО1} + n_{ТО2} \cdot q_{ТО2} + n_{РР} \cdot q_{РР} + n_{СР} \cdot q_{СР} + n_{КР} \cdot q_{КР}}{n_{ТО1} + n_{ТО2} + n_{РР} + n_{СР} + n_{КР}}.$$

Очевидно, що трудомісткість технічного обслуговування і ремонту за визначений період дорівнюватиме

$$Q_{ТО,Р} = N_{інв.} \cdot n_{ТО,Р} \cdot q_C.$$

Графічно це означає, що в нижньому квадранті по осі ординат треба відкласти відрізок, пропорційний $N_{інв.}$, і спроектувати його на похилий відрізок прямої, що йде від початку координат під кутом, тангенс якого дорівнює добутку $n_{ТО,Р} \cdot q_C$. Перпендикуляр від отриманої таким чином точки на абсцису і дає шукану трудомісткість, але оскільки для різного віку T (накопиченого пробігу) рухомого складу трудомісткість проведення одних і тих же ремонтно-профілактичних втручань, очевидно, є різною, замість одного похилого відрізка повинно бути декілька, залежно від прийнятої градації віку, з відповідними

кутовими коефіцієнтами k_T .

Межею доцільності впровадження фірмового обслуговування є, очевидно, така ситуація, коли витрати на ТО і Р на підприємстві міського електротранспорту дорівнюватимуть сплатам за фірмове обслуговування:

$$N_{inv.} \cdot k_T = \frac{B_{\phi.} - B_{вл.}}{k_{вл.} - k_{\phi.}}.$$

Ясно, що ця межа визначається не тільки обсягом ремонтно-профілактичних втручань, а й загальним станом рухомого складу: наприклад, при середньому віці між п'ятьма й десятима роками для $N_{inv.}$ одиниць впроваджувати фірмове обслуговування для підприємства міського електротранспорту було б невигідно, чого не можна сказати про доцільність при $T > 15$ років (рис. 8.26.4).

Розташування межі доцільності залежить також від співвідношення постійних і одиничних змінних вартостей технічного обслуговування і ремонту власними силами та на сторонньому підприємстві, але у всякому разі результат за наведеною вище формулою повинен бути позитивним, бо інакше фірмове обслуговування ні за яких умов вигідним не буде.

Для більшості підприємств міського електротранспорту фірмове обслуговування може бути впроваджено на існуючих виробничих площах ремонтно-експлуатаційних депо, що суттєво зменшить постійні витрати. Для підприємства-виробника перехід до фірмового обслуговування раніше проданої техніки дозволяє значно скоротити доведення техніки до належних показників і дає змогу запроваджувати власні системи ТО і Р, оскільки підприємство безпосередньо отримує інформацію про надійність своєї продукції в конкретних умовах експлуатації.

Запитання до самоперевірки

1 Розкрити сутність протиріччя між необхідністю збільшення оборотного фонду запчастин, збитками від простоїв і витратами на придбання, транспортування і утримання цього фонду.

2 Призначення та програмне забезпечення автоматизованих робочих місць спеціалістів підприємств міського електротранспорту.

3 Запропонувати перелік додаткових відомостей про види випусків, маршрути, інші умови експлуатації для розширення і уточнення бази облікових даних.

4 Пояснити сутність відмінностей обліку за методикою А від обліку за методикою Б.

5 Як організація фірмового обслуговування може сприяти підвищенню надійності на стадії проектування?

6 Як організація фірмового обслуговування позначається на фонді заробітної плати експлуатаційного підприємства?

Список джерел

1. Левковець П. Р., Зеркалов Д. В., Мельниченко О. І., Казаченко О. Г. Управління автомобільним транспортом: Навч. посібник /За ред. Д. В. Зеркалова. – К.: Арістей, 2006.– 416 с.
2. Коссой Ю.М. Экономика и управление на городском электрическом транспорте. – М.: Мастерство, 2002. – 352 с.
3. Закон України „Про підприємство”
4. Закон України „Про транспорт”
5. Закон України „Про дорожній рух”
6. Закон України „Про міський електричний транспорт”
7. Правила експлуатації трамвая та тролейбуса. – К.: Держжитлокомунгосп, 2004. – 108 с.
8. Сорока К. О. Основи теорії систем і системного аналізу: Навч. посібник.- Харків: Тимченко, 2005. – 288 с.
9. Левковець П. Р., Гедз Ю. М., Канарчук О. В., Кришан Г. Л., Сендак М. Д. Системна ефективність на транспорті. Методи, моделі і стратегії /Під ред. П. Р. Левковця.- К: НТУУ, ІЕБТ, 2002.- 216 с.
- 10.Гнеденко Б. В., Коваленко И. Н. Введение в теорию массового обслуживания. М.: Наука, 1987.- 336 с.
- 11.Галкин В. Г., Парамзин В. П., Четвергов В. А. Надежность тягового подвижного состава. – М.: Транспорт, 1981.- 184 с.
- 12.Исаев И. П., Допуски на характеристики электрических локомотивов. М., Трансжелдориздат, 1958. 369 с.
- 13.Форнальчик Є. Ю., Оліксевич М. С., Мاستикаш О. Л., Пельо Р. А. Технічна експлуатація та надійність автомобілів: Навч.посібник /За загальною ред. Є. Ю. Форнальчик. – Львів: Афіша, 2004. – 492 с.
- 14.Шор Я.Б., Кузьмин Ф.И. Таблицы для анализа и контроля надежности. М., Сов. Радио, 1968. 288 с.
- 15.Козлов Б. А., Ишаков И. А. Справочник по расчету надежности радиоэлектроники и автоматики. М., Сов. Радио, 1975. 472 с.
- 16.Бочков А. П., Гасюк Д. П., Филюстин Е. А. Модели и методы управления развитием технических систем: Уч. пособие – СПб: Изд.-во „Союз”, 2003.– 288 с.
- 17.Вентцель Е. С. Теория вероятностей.- М.: Высш.шк., 1999. – 576 с.
- 18.Розанов Ю. А. Теория вероятностей, случайные процессы и математическая статистика.- М.: Наука, 1989. – 312 с.

19. Козлов М. В., Прохоров А. В. Введение в математическую статистику. – М.: Изд.-во МГУ, 1987. – 262 с.
20. Далека В. Х., Голтв'янський М. А. Ремонт рухомого складу міського електричного транспорту.: Навч. посібник. Частина 1.- Харків: ХНАМГ, 2004 – 308 с.
21. Левковец П. Р., Гордискій В. Н., Калита П. Я. Качество ремонта и технического обслуживания автомобилей в АТП. – К.: Техніка, 1990.- 92 с.
22. Техническая эксплуатация автомобилей./Под ред. Е. С. Кузнецова.- М.: Транспорт, 1991. – 413 с.
23. Система технічного обслуговування і ремонтів рухомого складу. Наказ Держжитлокомунгоспу України №120 від 01.12.1991.
24. Правила охорони праці на міському електричному транспорті: НПАОП 60.2-1.01-06 МНС України, 2006. – 128 с.
25. Правила охорони праці на автомобільному транспорті: ДНАОП 0.00-1.28-97.- К: Держ. нагляд охорон праці, 1997. – 336 с.
26. Веклич В. Ф. Диагностирование технического состояния троллейбусов.- М.: Транспорт, 1990. – 295 с.
27. Хомич А. З. и др. Диагностика и регулировка тепловозов М., Транспорт, 1977. 222с. / Пушкарёв Н. Ф., Пахомов Э. А. Контроль и оценка технического состояния тепловозов. М.: Транспорт, 1985. 160 с.
28. Далека В. Х., Коваленко В. І., Будниченко В. Б., Хворост М. В. Практикум з технічної експлуатації міського електричного транспорту. – Харків: ХДАМГ, 2002. – 171 с.
29. Мирзохедов Ф. Математические модели и методы управления производством с учетом случайных факторов. – К.: Наук. думка, 1991. – 224 с.
30. Ферстер Э., Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 302 с.
31. Управління ресурсами підприємства: Навч. посібник /Під ред. Ю. М. Воробйова і Б. І. Холода.- Київ: „Центр навчальної літератури”, 2004.–288 с.
32. Гужва В. М. Інформаційні системи і технології на підприємствах: Навч. посібник. – К.: КНЕУ, 2001. – 400 с.
33. Автоматизовані робочі місця спеціалістів підприємств міського електротранспорту. Пакети прикладних програм, методичні вказівки для їх використання. Харків: ХНАМГ, 2006. – 30 с.

Навчальне видання

ДАЛЕКА Василь Хомич
БУДНИЧЕНКО Валерій Борисович
КАРПУШИН Едуард Іванович ,
КОВАЛЕНКО Віталій Іванович

ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК

Відповідальний за випуск *В. Х. Далека*

Редактор *З. І. Зайцева*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

Дизайн обкладинки *Т. Є. Клочко*

Підп. до друку 21.12.2012 р.
Друк на ризографі.
Тираж 500 пр.

Формат 60x84/16
Ум. друк. арк.14,0
Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції,12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4705 від 28.03.2014